

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»

№ 4 (53), 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)

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 Барбара 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 Гаевич – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры мехатроники и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Сырбу Светлана Александровна – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Телюченко 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 23.12.2024 г. Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 21,1. Тираж 100 экз. Заказ № 840.

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

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

Бубнов А. Г., Сараев И. В., Семенов А. Д. Относительная общая польза – дополнительный критерий выбора пожарных мотопомп	5
Bubnov A. G., Saraev I. V., Semenov A. D. Relative overall benefit is an additional criterion for selecting fire pump	5
Гессе Ж. Ф., Шабунин С. А., Фролова Т. В., Снегирев Д. Г. Влияние способа пропитки древесины водным раствором жидкого стекла на снижение ее пожарной опасности	13
Gesse Zh. F., Shabunin S. A., Frolova T. V., Snegirev D. G. Influence of the wood impregnation method by aqueous solution of liquid glass on reduction its fire danger	13
Куртов С. О., Малый В. П. Метод экспериментального исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов, выполненных из современных материалов	22
Kurtov S. O., Maly V. P. Method of experimental study of hydraulic resistance of pressure fire hoses made of modern materials	22
Самохвалов Ю. П., Ермилов А. В. Перекачка. Расчет параметров	28
Samokhvalov Y. P., Ermilov A. V. Pumping. Calculation of parameters	28
Семенов А. Д., Бубнов А. Г., Сараев И. В. Оценка тактико-технических характеристик модернизированного противопожарного ранца	39
Semenov A. D., Bubnov A. G., Saraev I. V. Assessment of the tactical and technical characteristics of the upgraded fire-fighting backpack	39
Федосов С. В., Лазарев А. А., Цветков Д. Е., Комлёв А. Ю. Процессы массопереноса при огнезащитной обработке древесины в автоклаве	49
Fedosov S. V., Lazarev A. A., Tsvetkov D. E., Komlev A. Y. Mass transfer processes during flame retardant treatment of wood in an autoclave	49
Чан Д. Ч. Разработка перфорированных трубопроводов для создания водяных завес в целях предотвращения каскадных пожаров в сельских поселениях Вьетнама	60
Tran D. Tr. Development of perforated pipelines to create water curtains in order to prevent cascading fires in rural settlements of Vietnam	60
Чудакова А. Ф., Сырбу С. А., Митрофанов А. С., Азовцев А. Г. Анализ влияния композиционного покрытия стали к сопротивлению коррозии методом металлографии	70
Chudakova A. F., Syrbu S. A., Mitrofanov A. S., Asovtsev A. G. Analysis of the effect of the composite coating of steel on resistance corrosion by metallography	70

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

Наконечный С. Н., Азовцев А. Г. К вопросу определения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций	79
Nakonechnyy S. N., Azovtsev A. G. On the issue of determining limit states for fire resistance of building structures	79

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

Малыгина О. А., Засько В. В. Имитационное моделирование тепловлажностного состояния ограждающих конструкций зданий в нестационарном режиме	85
Malygina O. A., Zasko V. V. Simulation modeling of the thermal and moisture state of building enclosing structures in a non-stationary mode	85

Румянцева В. Е., Красильников И. В., Красильникова И. А. Оценка эффективности некоторых составов бетонных смесей, применяемых при торкретировании, по критериям долговечности	97
Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Krasilnikova I. A. Evaluation of the effectiveness of some concrete mixtures used in shotcrete based on durability criteria	97
Румянцева В. Е., Панченко Ю. Ф., Панченко Д. А., Нармания Б. Е. Исследование деструкции строительных материалов из известково-кремнеземистого вяжущего при воздействии растворов хлорида натрия	109
Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Yu. F., Narmania B. E. Investigation of the destruction of building materials from lime-silica binder under the influence of sodium chloride solutions	109
Румянцева В. Е., Овчинников А. А., Обручев Д. В., Ходова И. А. Жаростойкий бетон для огнезащитных покрытий строительных конструкций	118
Rumyantseva V. E., Ovchinnikov A. A., Obruchev D. V., Khodova I. A. Heat resistant concrete for fireproofing coatings of building structures	118

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

Зейнетдинова О. Г., Данилов П. В., Кокурин А. К. Моделирование радиационной обстановки в очаге ядерного поражения	126
Zeynetdinova O. G., Danilov P. V., Kokurin A. K. Modeling the radiation situation in the center of a nuclear disaster	126
Разумова Е. Ф., Семенов А. О., Апарин А. А., Жиганов К. В. Информационная поддержка специалистов оперативной дежурной смены центра управления в кризисных ситуациях на основе современных технологий	134
Razumova E. F., Semenov A. O., Aparin A. A., Zhiganov K. V. Information support for specialists of the operational duty shift of the crisis management center based on modern technologies	134

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

УДК 614.843

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОБЩАЯ ПОЛЬЗА – ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ
ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ МОТОПОМП**

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

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: bubag@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru, sad8_3@mail.ru

В статье рассмотрено применение комплексного критерия относительной общей пользы учитывающего показатели надёжности рассматриваемых изделий для обоснования выбора пожарно-технического оборудования на примере мотопомп для оснащения добровольных пожарно-спасательных подразделений. Задача обоснования выбора рассматриваемых изделий решалась несколькими методами, применением иерархической процедуры оценивания и комплексного критерия относительной общей пользы. Анализ полученных результатов подтвердил адекватность использованного критерия для целей обоснования выбора оборудования по оснащению добровольных пожарно-спасательных подразделений.

Ключевые слова: мотопомпа пожарная, иерархическая процедура оценивания, надёжность, вероятность отказа, общая польза.

**RELATIVE OVERALL BENEFIT IS AN ADDITIONAL CRITERION
FOR SELECTING FIRE PUMP**

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

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: bubag@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru, sad8_3@mail.ru

The article considers the application of a complex criterion of relative overall benefit taking into account the reliability indicators of the products under consideration to justify the choice of fire-fighting equipment using the example of motor pumps for equipping volunteer fire and rescue units. The task of justifying the choice of the products under consideration was solved by several methods, using a hierarchical evaluation procedure and a complex criterion of relative overall benefit. Analysis of the obtained results confirmed the adequacy of the criterion used for the purposes of justifying the choice of equipment for equipping volunteer fire and rescue units.

Key words: fire-fighting motor pump, hierarchical evaluation procedure, reliability, probability of failure, overall benefit.

Решением Совета глав государств Содружества Независимых Государств от 14 октября 2022 года текущий год объявлен в Содружестве Независимых Государств Годом волонтерского движения¹. Государства-участники СНГ широчайшим образом и наиболее эффективно сотрудничают в области гражданской обороны [1, 2]. К одному из видов волонтерства относится добровольная пожарная охрана (ДПО) [3]. ДПО представляет собой общественные объединения, координирующие действия работников предприятий и населения территориального участка при пожаре, а также содействующие профессиональным бригадам. ДПО может участвовать в тушении пожаров до приезда подразделений пожарной охраны Федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы (ФПС ГПС).

В большинстве удалённых от областных, краевых, районных центров территорий нашей страны содержание стандартных для ФПС ГПС автоцистерн и насосно-рукавных автомобилей невозможно или дорогостояще для ДПО [4] (экономически нецелесообразно). Единственным средством пожаротушения (в отсутствие пожарных автомобилей), созданным для борьбы с огнём является пожарная мотопомпа. Мотопомпа пожарная – это насосный агрегат с двигателем внутреннего сгорания, укомплектованный пожарно-техническим оборудованием². Чаще всего мотопомпы предназначены для забора воды из естественных и искусственных водоисточников с дальнейшей подачей огнетушащих веществ под давлением, на тушение пожара, для подачи воды от гидрантов наружной сети противопожарного водоснабжения, а также для перекачки воды и заполнения ёмкостей для организации полевого водоснабжения [5].

Обеспечение добровольных пожарных дружин надёжными средствами для выполнения задач по эффективному тушению пожаров будет всегда актуальной важной задачей. Известно, что для выбора/подбора наиболее надёжного пожарно-технического оборудования, имеется множество подходов.

Выбор пожарной техники для ДПО, довольно нетривиальная задача, так как сложно найти такой агрегат, который соответствовал бы тому множеству требований, которые необходимы для качественного тушения пожаров [6]. Мотопомпа не является исключением. В большей степени, трудность выбора, конкретно мотопомпы, связана с особенностями территории, на которой будет использоваться данная техника, так как степень загрязнённости воды, возможность быстрой установки агрегата и удобство его использования существенно сужает круг, возможных вариантов оборудования [7].

Малонаселённые пункты нашей страны, например, такие как Вологодский район (населённые пункты вблизи города Вологда) имеет болотистую местность, дороги с малой проходимостью и достаточно загрязнённые водоёмы. Это в свою очередь, говорит о трудности выбора необходимой техники для ФПС ГПС (не говоря о ДПО), в условиях Вологодского района и подобных мест в России.

Целью исследования являлось обоснование выбора надёжной и эффективной мотопомпы для оснащения добровольных пожарных дружин в России.

Исходя из выше сказанного, первоначальный выбор производился с помощью хорошо апробированной, например, в [8] и [9], иерархической процедуры оценивания (ИПО) – метода анализа иерархий Томаса Саати [10].

ИПО представляет собой трёхуровневую иерархию с использованием метода парных сравнений [11]. ИПО позволяет определить оценки выбранных свойств и нормализованный вектор приоритетов (весомость критерия). Далее каждая альтернатива проходит соответствие с каждым критерием, из чего делается вывод – какое решение лучше (в нашем случае – для выбора модели/марки мотопомпы). Достоверность полученных результатов подтверждалась расчётом обобщённого отношения согласованности [10].

В качестве альтернативного метода по обоснованию выбора того или иного оборудования применяется методика, основывающаяся на концепции «польза – вред» («оправданность деятельности»), учитывающая особенности субъекта РФ на территории которого расположено подразделение ФПС ГПС [12–15] или ДПО.

Для расчётов первоначально отбирались сходные по тактико-техническим характеристикам (ТТХ) модели мотопомп, предназначенные для перекачки и подачи не только чистой воды, но и для воды средней загрязнённости, так как на территории населённых пунктов Вологодского района достаточно болот и загрязнённых водоёмов.

¹ Решение Совета глав государств Содружества Независимых Государств от 14 октября 2022 года об объявлении в Содружестве Независимых Государств 2024 года Годом волонтерского движения, 2025 года – Годом 80-летия Победы в Великой Отечественной войне – Годом Мира и Единства в борьбе с нацизмом, 2026 года – Годом охраны здоровья (г. Астана)

²ГОСТ Р 53332-2009 Техника пожарная. Мотопомпы пожарные. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний

Варианты (альтернативы) выбора: МП 10/70 «Гейзер» (B_1), Вепрь МП-800 (B_2), Honda WB30XT (B_3), Daishin SST 100-YD (B_4). В качестве критериев, предъявляемых к мотопомпам (для Вологодской области) были выбраны: частота отказов (K_1), цена (K_2), производительность (K_3), расход топлива (K_4), удобство использования (K_5), высота всасывания (K_6), напор (K_7), возможность ремонта (K_8). Таким образом, выбор производился из четырёх альтернатив по восьми критериям (рисунок).

В ходе исследования был проведён очный анкетный опрос респондентов (сотрудников СПСЧ ФПС ГУ МЧС России по Вологодской области). Его результатом явились матрицы иерархий для Вологодского пожарно-спасательного гарнизона (ПСГ). Отметим, что, вероятно, для ДПО в Вологодской области

наблюдается аналогичная картина. Например, в табл. 1 представлено попарное сравнение критериев, предъявляемых к мотопомпам. При этом можно заметить, как один критерий преобладает над другим, т.е. насколько он важен, относительно другого. Оценены соотношения между критериями, их среднее геометрическое значение, а также весомость критерия в численном выражении.

Ниже представлены в качестве примера табл. 2 и 3.

В табл. 2 даны парное сравнение и оценка, выбранных респондентами альтернатив, относительно частоты отказов мотопомп. Здесь в численном выражении можно наблюдать, какой агрегат преобладает в части надёжности над другими. В табл. 3 дано парное сравнение мотопомп по цене.

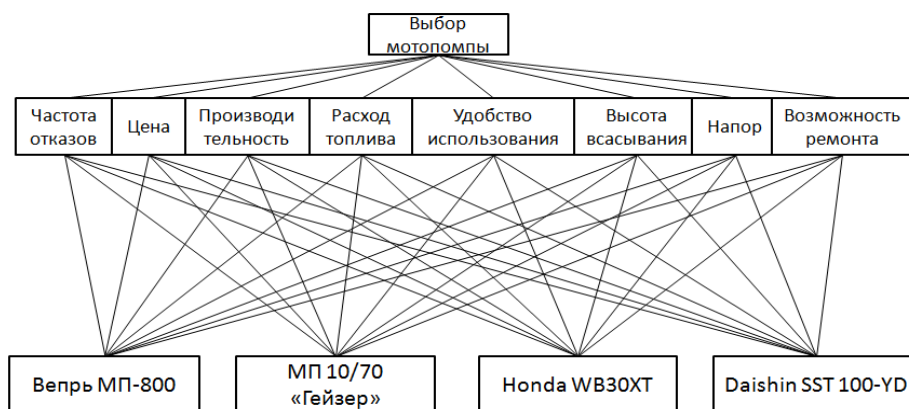


Рисунок. Иерархия выбора пожарной мотопомпы

Таблица 1. Попарное сравнение критериев, предъявляемых к мотопомпам

Критерии выбора	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	Среднее геометрическое	Нормализованный вектор приоритетов (весомость критерия)
K_1	1	5	9	9	4	9	9	3	6,125	0,39
K_2	0,2	1	2	2	0,5	3	3	0,5	1,525	0,099
K_3	0,11	0,5	1	1	2	2	2	0,25	1,107	0,07
K_4	0,11	0,5	1	1	0,5	1	2	0,2	0,788	0,05
K_5	0,25	2	0,5	2	1	3	3	0,5	1,531	0,099
K_6	0,11	0,33	0,5	1	0,33	1	1	0,14	0,551	0,036
K_7	0,11	0,33	0,5	0,5	0,33	1	1	0,14	0,488	0,031
K_8	0,33	2	4	4	2	7	7	1	3,416	0,22
Сумма	2,22	11,66	18,5	20,5	10,66	27	28	5,73	15,533	1
λ_{\max}	8,53									
ИС*	0,075									
ОС*	0,1									

*Примечание: ИС – индекс согласованности; ОС – отношение согласованности [10]

Таблица 2. Оценка частоты отказов мотопомп

K_1	B_1	B_2	B_3	B_4	Среднее геометрическое	Нормализованный вектор приоритетов (весомость критерия)
B_1	1	2	3	0,5	1,625	0,290
B_2	0,5	1	2	0,33	0,9575	0,170
B_3	0,33	0,5	1	0,25	0,52	0,093
B_4	2	3	4	1	2,5	0,447
Сумма	3,83	6,5	10	2,08	5,6025	1
$\lambda_{\max 1}$	4,22					
ИС ₁	0,07					
ОС ₁	0,08					

Таблица 3. Парное сравнение мотопомп по цене

K_2	B_1	B_2	B_3	B_4	Среднее геометрическое	Нормализованный вектор приоритетов (весомость критерия)
B_1	1	0,2	0,11	0,33	0,41	0,05
B_2	5	1	0,33	3	2,33	0,28
B_3	9	3	1	5	4,5	0,54
B_4	3	0,33	0,2	1	1,13	0,14
Сумма	16	4,53	1,8	8,53	7,72	1
$\lambda_{\max 2}$	4,28					
ИС ₂	0,095					
ОС ₂	0,1					

Аналогичные оценки были осуществлены по другим критериям (см. рисунок).

Подводя промежуточные итоги в табл. 4 можно констатировать, что при выборе мотопомпы для тушения пожаров подразделениям ДПО рекомендуется принять во внимание вариант B_2 , а как альтернатива может быть рассмотрен вариант B_3 .

Обе из выбранных респондентами с помощью применения ИПО моделей мотопомп являются высококачественным пожарно-

техническим оборудованием (однако последняя — иностранного производства).

Достоверность полученных результатов применения ИПО подкреплена расчётом обобщённого индекса согласования (для Вологодской области он равен 4,0 %) и обобщённого отношения согласованности (4,3 %), которые не превышают порог 10 % значения. Что подтверждает адекватность полученных векторов приоритета.

Таблица 4. Итоговые значения приоритетов выбора мотопомпы

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	Итоговое значение приоритета при выборе мотопомпы
B_1	0,29	0,05	0,04	0,08	0,12	0,14	0,72	0,25	0,211
B_2	0,17	0,28	0,18	0,25	0,41	0,28	0,14	0,25	0,490
B_3	0,09	0,55	0,29	0,51	0,23	0,28	0,07	0,25	0,283
B_4	0,45	0,14	0,49	0,16	0,23	0,28	0,07	0,25	0,260
ОИС*	0,040								
ООС*	0,043								

*Примечание: ОИС – общий индекс согласованности, ООС – общее отношение согласованности [10]

Отметим, что использованный дополнительно методический подход [12–14] к расчёту показателя относительной общей пользы (W) основывается на использовании данных, заявленных производителями оборудования,

при расчёте его вероятностей безотказной работы ($P(t)$) и отказа ($Q(t)$) [15].

Зная эксплуатационные затраты на техническое обслуживание, ремонт оборудования (G), а также показатели его работоспо-

способности, можно без особого труда оценить техногенный риск отказа оборудования (B) и выбрать наиболее подходящее оборудование производимое как в России, так и за рубежом; импортируемое в Россию, с учётом специфики любого субъекта РФ.

Относительная общая польза рассчитывалась как отношение математического ожидания ущерба от внезапного прекращения

работы (отказа) оборудования (Y_{np}) к сумме величины уровня техногенного риска в стоимостном выражении (B) и затрат на снижение уровня техногенного риска ПТО (G) [13, 15].

Полученные по результатам расчётов данные в рамках определения относительной общей пользы применения двух ранее выбранных по ИПО пожарных мотопомп приведены в табл. 5.

Таблица 5. Показатели относительной общей пользы пожарных мотопомп (по наработке на отказ, установленной заводом-изготовителем и с использованием данных о стоимости жизни в Вологодской области в 2022 г., полученных страховой компанией РОСГОССТРАХ)

Показатель	Пожарная мотопомпа	
	B_2	B_3
$P(t)$	0.9841	0.9851
$Q(t)$	0.0159	0.0149
B , руб./год	61 917	73 079
G , руб./год	7985	7985
Стоимость, руб.	100 900	70 600
W , руб.	55.1	47.7
Место	1	2

Опираясь на данные табл. 5 и положения Военной доктрины Российской Федерации³, рекомендуется при оснащении новыми образцами вооружения и специальной техники ориентироваться на продукцию отечественного производства. Следовательно, в качестве рекомендации по оснащению ДПО мотопомпами стоит рассмотреть вариант B_2 . Учитывая Федеральный закон № 44-ФЗ⁴, следует в первую очередь обращать внимание на продукцию отечественных производителей. Из вышесказанного можно заключить, что для оснащения подразделений ДПО может быть рекомендована пожарная мотопомпа B_2 , показавшая вы-

сокие результаты при определении предпочтительного оборудования (ТТХ мотопомпы приведены в [16]).

Таким образом, дополнительно использованный методический подход с расчётом показателя относительной общей пользы для обоснования выбора и совершенствования технического оснащения подразделений ДПО позволяет учесть не только показатели надёжности, но и уровень затрат на поддержание технической готовности рассматриваемого оборудования, а также значение техногенного риска в стоимостном выражении.

Список литературы

1. Виноградов О. В., Дуганов В. А., Малышев В. П. Международное сотрудничество Российской Федерации с государствами - участниками СНГ в области гражданской обороны // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20, № 5. С. 5–10. DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.S.
2. Назаренко Е. К., Лукьянова Л. К., Краснова Л. В. К вопросу о приграничном со-

трудничестве между Российской Федерацией, Республикой Беларусь и Республикой Казахстан в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20, № 3. С. 28–32. DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.S.

3. Развитие добровольческой (волонтерской) деятельности в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах / Э. Н. Аюбов, О. Е. Буевич, В. П. Гаврюшенко [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20, № 3 (77). С. 75–80. DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

4. Григорьев В. Н., Дуганов В. А. Противоречия и проблемные вопросы ресурсного обеспечения задач гражданской обороны //

³ Военная доктрина Российской Федерации утв. Президентом Российской Федерации 25.12.2014 № Пр-2976

⁴ Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 № 44-ФЗ

Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19, № 3 (73). С. 84–89.

5. Малышев В. А. Проблемные вопросы организации полевого водоснабжения сил ликвидации ЧС в районах проведения спасательных работ и эвакуации населения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 4 (31). С. 19–26.

6. Бубнов А. Г., Курочкин В. Ю., Моисеев Ю. Н. К вопросу о критериях выбора пожарно-спасательного оборудования // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2014. № 1 (37). С. 89–94.

7. Клименти Н. Ю., Власова О. С. Организация аварийно-спасательных работ: Часть 2. Организация аварийно-спасательных работ в природных и техногенных условиях. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. 288 с.

8. Ряскин А., Соболев С. Метод анализа иерархий при выборе программного обеспечения проектирования и производства электронных схем // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 2 (54). С. 21–23.

9. Цибилова Т. Ю., Карпунин А. А. Применение метода анализа иерархий в оценке качества процессов управления // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. С. 200.

10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

11. Иващенко А. О. Использование метода анализа иерархий в принятии решений // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2014. № 25. С. 141–144.

12. Сараев И. В., Бубнов А. Г., Моисеев Ю. Н. Сравнительный анализ методов поддержки управленческих решений по оснащению пожарно-спасательных подразделений МЧС России // Пожарная и аварийная безопасность. 2019. № 1 (12). С. 40–51.

13. Относительная общая польза – дополнительный комплексный критерий выбора пожарных рукавов / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, В. Ю. Курочкин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 4. С. 66–71.

14. Сараев И. В., Бубнов А. Г. Ранжирование предпочтительности выбора различного пожарно-технического оборудования для оснащения подразделений МЧС России на основе комплексного критерия относительной общей пользы // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2018. № 3. С. 9–16.

15. Сараев И. В., Бубнов А. Г. Комплексный критерий для выбора пожарно-технического оборудования при оснащении подразделений МЧС России // Проблемы

управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 86–93.

16. Малыхин А. В. Пожарные мотопомпы нового поколения // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2013. № 1 (64). С. 59–70.

References

1. Vinogradov O. V., Duganov V. A., Malyshev V. P. Mezhdunarodnoye sotrudnichestvo Rossiyskoy Federatsii s gosudarstvami - uchastnikami SNG v oblasti grazhdanskoj oborony [International cooperation of the Russian Federation with the CIS member states in the field of civil defense]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2023, vol. 20, issue S, pp. 5–10. DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.S.

2. Nazarenko Ye. K., Luk'yanova L. K., Krasnova L. V. K voprosu o prigranichnom sotrudnichestve mezhdru Rossiyskoy Federatsiyey, Respublikoy Belarus' i Respublikoy Kazakhstan v oblasti zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy [On the issue of cross-border cooperation between the Russian Federation, the Republic of Belarus and the Republic of Kazakhstan in the field of protecting the population and territories from emergency situations]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2023, vol. 20, issue S, pp. 28–32. DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.S.

3. Razvitiye dobrovol'cheskoy (volonterskoy) deyatelnosti v oblasti zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy, obespecheniya pozharnoy bezopasnosti i bezopasnosti lyudey na vodnykh ob'yektakh [Development of volunteer activities in the field of protecting the population and territories from emergency situations, ensuring fire safety and safety of people on water bodies] / E. N. Ayubov, O. Ye. Buyevich, V. P. Gavryushenko [et al.]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2023, issue 20, vol. 3 (77), pp. 75–80. DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

4. Grigor'yev V. N., Duganov V. A. Protiivorechiya i problemnyye voprosy resursnogo obespecheniya zadach grazhdanskoj oborony [Contradictions and problematic issues of resource provision for civil defense tasks]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2022, issue 19, vol. 3 (73), pp. 84–89.

5. Malyshev V. A. Problemnyye voprosy organizatsii polevogo vodosnabzheniya sil likvidatsii CHS v rayonakh provedeniya spasatel'nykh rabot i evakuatsii naseleniya [Problematic issues of organizing field water supply for emergency response forces in areas where rescue operations are carried out and the population is evacuated]. *Nauchnyye i obrazovatel'nyye prob-*

lemy grazhdanskoy zashchity, 2016, vol. 4 (31), pp. 19–26.

6. Bubnov A. G., Kurochkin V. Yu., Moiseyev Yu. N. K voprosu o kriteriyakh vybora pozharno-spasatel'nogo oborudovaniya [On the issue of criteria for selecting fire and rescue equipment]. *Sovremennyye naukoemye tekhnologii. Regional'noye prilozheniye*, 2014, vol. 1 (37), pp. 89–94.

7. Klimenti N. Yu., Vlasova O. S. *Organizatsiya avariyno-spasatel'nykh rabot: Chast' 2. Organizatsiya avariyno-spasatel'nykh rabot v prirodnykh i tekhnogennykh usloviyakh* [Organization of emergency rescue operations: Part 2. Organization of emergency rescue operations in natural and man-made conditions]. Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2018, 288 p.

8. Ryaskin A., Sobolev S. Metod analiza iyerarkhiy pri vybore programmogo obespecheniya proyektirovaniya i proizvodstva elektronnykh skhem [Analytical Hierarchy Processing in Selecting Electronic Circuit Design and Manufacturing Software]. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, 2012, issue 2 (54), pp. 21–23.

9. Tsibizova T. Yu., Karpunin A. A. Primeneniye metoda analiza iyerarkhiy v otsenke kachestva protsessov upravleniya [Application of the Analytic Hierarchy Process Method in Assessing the Quality of Management Processes]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, issue 2-1, 200 p.

10. Saati T. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [Decision Making: Analytic Hierarchy Process]. Moscow: Radio i svyaz', 1993, 278 p.

11. Ivashchenko A. O. Ispol'zovaniye metoda analiza iyerarkhiy v prinyatii resheniy [Using the Analytic Hierarchy Process in Decision Making]. *Intellektual'nyy potentsial XXI veka: studenyiye pozvaniya*, 2014, issue 25, pp. 141–144.

12. Sarayev I. V., Bubnov A. G., Moiseyev Yu. N. Sravnitel'nyy analiz metodov podderzhki upravlencheskikh resheniy po osnashcheniyu pozharno-spasatel'nykh podrazdeleniy MCHS Rossii [Comparative analysis of methods for supporting management decisions on equipping fire and rescue units of the Russian Emergencies Ministry]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2019, vol. 1 (12), pp. 40–51.

13. Otnositel'naya obshchaya pol'za – dopolnitel'nyy kompleksnyy kriteriy vybora pozharnykh rukavov [Relative overall benefit – an additional complex criterion for selecting fire hoses] / I. V. Sarayev, A. G. Bubnov, V. Yu. Kurochkin [et al.]. *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2015, vol. 24, issue 4, pp. 66–71.

14. Sarayev, I.V. Ranzhirovaniye predpochtitel'nosti vybora razlichnogo pozharnotekhnicheskogo oborudovaniya dlya osnashcheniya podrazdeleniy MCHS Rossii na osnove kompleksnogo kriteriya otnositel'noy obshchey pol'zy [Ranking the preference of choosing various fire-fighting equipment for equipping the units of the Ministry of Emergency Situations of Russia based on a comprehensive criterion of relative overall benefit] / I.V. Sarayev, A.G. Bubnov // *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii»*. 2018, issue 3, pp. 9-16.

15. Sarayev I. V., Bubnov A. G. Kompleksnyy kriteriy dlya vybora pozharnotekhnicheskogo oborudovaniya pri osnashchenii podrazdeleniy MCHS Rossii [Comprehensive criteria for selecting fire-fighting equipment when equipping units of the Russian Emergencies Ministry]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2018, vol. 3 (47), pp. 86–93.

16. Malykhin A. V. Pozharnyye motopompy novogo pokoleniya [New generation fire motor pumps]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii*, 2013, vol. 1 (64), pp. 59–70.

Бубнов Андрей Германович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Доктор химических наук, доцент

E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovitch

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Chemical Sciences, associate professor

E-mail: bubag@mail.ru

Сараев Иван Витальевич

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

Кандидат технических наук

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Saraev Ivan Vitalevitch

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Семенов Андрей Дмитриевич

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

кандидат технических наук

E-mail: sad8_3@mail.ru,

Semenov Andrey Dmitrievich

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences

E-mail: sad8_3@mail.ru.

УДК 66.018.4

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ЖИДКОГО СТЕКЛА НА СНИЖЕНИЕ ЕЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Ж. Ф. ГЕССЕ, С. А. ШАБУНИН, Т. В. ФРОЛОВА, Д. Г. СНЕГИРЕВ

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

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru, snegirev.1965@bk.ru

Древесину относят к числу уникальных природных ресурсов. Как натуральный материал она обладает востребованным набором свойств – высокой прочностью, низкой теплопроводностью, легкостью и т.д. Древесина представляет особый интерес, поскольку она является доступным и возобновляемым строительным материалом.

Несмотря на наличие большого числа опубликованных работ, посвященных исследованию влияния средств огнезащиты на пожарную опасность древесины и древесных материалов, направление научных исследований остается по-прежнему актуальным. Этому способствует утверждение Плана мероприятий по развитию деревянного домостроения на период до 2024 года, а сейчас – Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года и, как следствие, активное строительство домов из древесины с переходом от мало- к многоэтажному.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния способа пропитки древесины на ее пожарную опасность. В качестве критерия, позволяющего характеризовать пожарную опасность, был выбран кислородный индекс. Объектом исследования являлась древесина сосны. Огнезащитным составом служил водный раствор силиката натрия с массовой долей 40 %. Установлено, что пропитка древесины таким составом приводит к увеличению значения кислородного индекса ~ на 9 % по сравнению с необработанной древесиной. Показано, что способ пропитки древесины оказывает влияние на прирост массы исследуемых образцов (Δm^*). Однако, корреляция между значениями Δm^* и величиной кислородного индекса огнезащищенной древесины отсутствует.

Ключевые слова: пожарная опасность древесины, сосна, способ пропитки древесины, кислородный индекс.

INFLUENCE OF THE WOOD IMPREGNATION METHOD BY AQUEOUS SOLUTION OF LIQUID GLASS ON REDUCTION ITS FIRE DANGER

Zh. F. GESSE, S. A. SHABUNIN, T. V. FROLOVA, D. G. SNEGIREV

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: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru, snegirev.1965@bk.ru

Wood is a unique natural resource. Its properties (such as high strength, low thermal conductivity, lightness, etc.) are in demand. In economic terms, wood is of interest due to its renewability and availability.

A lot of works related to the study of the influence of fire protection agents on the fire danger of wood and wood-based materials have been published. However, this field of scientific research remains relevant today. The key role in this situation is played the approval of the following documents: the Action Plan for the development of wooden housing construction for the period up to 2024 and the Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation up to 2030. The appearance of these documents led to the development of active construction of small and multi-storey houses made of wood.

The purpose of this work was to study the influence of the impregnation method of wood on its fire danger. The oxygen index was chosen as the evaluated criterion. The object of research was pine wood. An aqueous solution of sodium silicate (mass fraction of 40 %) was used as a flame retardant. It was found that impregnation of wood with such a composition leads to an increase in the oxygen index value by ~ 9% compared with untreated wood. It is shown that the method of wood impregnation affects the increase in the

mass of the studied samples (Δm^*). However, there is no correlation between the values of Δm^* and the oxygen index of fire-protected wood.

Key words: fire danger of wood, pine, method of wood impregnation, oxygen index.

Уже много лет древесина является одним из наиболее распространенных природных материалов, используемых как в строительстве, так и в отделке. Ее широкое применение обусловлено высокой прочностью, низкой теплопроводностью, легкостью и другими свойствами, отражающими ее простоту в обработке, скреплении элементов и т. д. Древесина представляет особый интерес, поскольку она является доступным и возобновляемым строительным материалом.

В строительстве традиционно широко используется древесина хвойных пород. Так, отличительной особенностью древесины сосны является относительная устойчивость к

процессам гниения и биопоражения, к появлению трещин по сравнению с другими породами древесины. У сосны, как правило, достаточно гладкий и ровный ствол с относительно малым количеством сучков – пороков древесины первой группы¹. При нормальном развитии ее ствол будет прямой по всей длине, он редко имеет извилистую форму, которая в большинстве случаев обусловлена повреждениями в процессе роста. Перечисленное выше определяет целесообразность использования сосны в качестве строительного материала. Некоторые другие сравнительные характеристики древесины представлены в табл. 1.

Таблица 1. Объем твердого вещества и пустот древесины. Параметры, влияющие на обрабатываемость резанием древесины [1, 2]

Показатели	Береза	Дуб	Ель	Сосна	Коэффициент вариации, %
Масса 1 м ³ плотной древесины, кг/м ³	560	650	420	460	–
Объем твердого вещества, %	37,4	43,4	28,0	30,7	–
Объем пустот, %	62,6	56,6	72,0	69,3	–
Модуль упругости, МПа					
E_i	1640	1470	1480	1240	20
E_o	68	135	67	70	20
Твердость, МПа					
радиальная	36,3	54,9	17,7	23,5	17
торцевая	45,6	64,2	26,0	28,0	17
Коэффициент обрабатываемости	0,74	0,58	1,14	1	–

Коэффициент вариации указывает на то, что значения основных физико-механических свойств древесины могут различаться, потому как определяются влиянием различных факторов, в т. ч. и условиями произрастания дерева.

Анализ усредненного химического состава древесины [3] показывает, что основной ее компонент – это целлюлоза, второе место у хвойных пород древесины по содержанию занимает лигнин. Структура древесины пористая, каждая ячейка заполнена воздухом, а ее стенки состоят из целлюлозы и лигнина, которые хорошо горят. Соотношение объема пустоты к объему твердого вещества древесины

превышает единицу, что, в свою очередь, определяет горючесть древесины.

Вопросы, связанные с особенностями горения древесины, и результаты исследования пожарной опасности древесины и древесных материалов рассматривались в литературе многими авторами. Отдельно стоит отметить работы [4–6], в которых обобщены закономерности термического разложения древесины, определено влияние породы и вида древесины на характеристики воспламенения, количественно описан процесс тепловыделения при горении древесины, охарактеризована дымообразующая способность продуктов горения древесины и т. д. Очевидно, что знание

¹ ГОСТ 2140-81 «Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения»

физико-химических особенностей процесса горения древесины играет определяющую роль при тушении пожаров.

Для снижения пожарной опасности древесины и древесных материалов используют различные огнезащитные средства, например [7–9]. Нами ранее проводились испытания брусков сосны, обработанных водным раствором жидкого стекла, на устойчивость к огневому воздействию [10]. Было установлено, что увеличение концентрации жидкого стекла свыше 40 % по массе не приводит к возрастанию времени воспламенения образца под воздействием источника зажигания. Подробное исследование поведения жидкого стекла и его компонентов при нагревании было изучено методом термогравиметрического анализа и одностороннего теплового воздействия в работе [11].

Несмотря на большое количество опубликованных работ, связанных с исследованием влияния средств огнезащиты на пожарную опасность древесины и древесных материалов, данная тема остается по-прежнему актуальной, поскольку в последние годы активно развивается деревянное домостроительство. К тому же, перспективным направлением является строительство именно многоэтажных зданий с использованием деревянных конструкций. Актуальность этого подтверждается принятием следующих документов: Плана мероприятий по развитию деревянного домостроения на период до 2024 года и Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Пилотные проекты строительства малоэтажных домов из древесины в России уже реализуются. В ближайшее время будут построены многоэтажные дома из древесины и древесных материалов, а это является исходной точкой к продолжению инициативных научно-исследовательских работ, направленных на контроль и снижение пожарной опасности древесины и древесных материалов.

В настоящий момент широко применяется пропитка строительных конструкций из древесины на заводе-изготовителе, что позволяет добиться проникновения компонентов огнезащитного состава вглубь древесины и обеспечения максимального уровня огнезащиты. При этом на процесс обработки древесины оказывают влияние различные факторы – концентрация компонентов, температура, давление, время выдержки древесины в пропиточном растворе и т.д. [12–14]. Количество работ по изучению влияния вышеназванных факторов носит ограниченный характер и направлено, в основном, на исследование действия огнезащитных средств многофункционального назначения, промышленно выпускаемых или

на изучение способов более сложной пропитки, связанной с использованием вакуума и/или повышенного давления.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния способа пропитки древесины на ее пожарную опасность. В качестве показателя, позволяющего оценить общую меру горючести исследуемого материала, был выбран кислородный индекс. Объектом исследования являлась древесина сосны. Влажность древесины составляла 8–12 % (комнатно-сухая древесина). Размеры исследуемых образцов сосны для определения кислородного индекса составляли 70 мм × 9 мм × 3 мм (высота × ширина × толщина).

Для приготовления пропиточных огнезащитных растворов использовали жидкое натриевое стекло «Текс (Универсал)», изготовленное по требованиям². Концентрация жидкого стекла в водном растворе составляла 40 масс. %.

Пропитку древесины раствором жидкого стекла осуществляли в соответствии с нормативным документом³. Класс исследуемого защитного средства по растворимости – водорастворимое. Описание методики пропитки образцов сосны приведено в табл. 2.

В процессе пропитки древесины раствор непрерывно перемешивали. Длительность времени погружения выбирали, исходя из размеров образцов и необходимости сопоставимости экспериментальных данных. Для получения образцов древесины по методике №4 каждый раз готовили свежий раствор жидкого стекла. Как до, так и после пропитки образцы сосны подвергали сушке для удаления влаги из древесины в течение нескольких суток до достижения образцами постоянной массы при температуре 45 ± 5 °С⁴.

Прирост массы образцов и поглощение поверхностью древесины раствора после нанесения огнезащитного состава (методики № 2, № 3, № 4) оценивали гравиметрическим методом (табл. 3), усредняя в каждом случае данные для 10 образцов и используя расчетные формулы (1) и (2).

² ГОСТ 13078-81 «Стекло натриевое жидкое. Технические условия»

³ ГОСТ 20022.6-93 «Защита древесины. Способы пропитки»

⁴ ГОСТ Р 53292-2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний»

Таблица 2. Исследуемые образцы древесины

Образец сосны/номер методики пропитки	Методика пропитки	Примечание
№ 1	–	Необработанный образец – образец сравнения
№ 2	Нанесение защитного средства на поверхность путем погружения в раствор огнезащитного средства при комнатной температуре продолжительностью 60 с	–
№ 3	Нанесение защитного средства на поверхность кистью дважды без просушки древесины в интервалах между обработками. Временной интервал между обработками не более 10 мин	–
№ 4	Прогрев – холодная ванна. Температура раствора в горячей ванне составляла 90–95 °С, время погружения 30 с, а в холодной – 20–40 °С, время погружения 30 с	–

Таблица 3. Прирост массы исследуемых образцов древесины после пропитки 40 % раствором жидкого стекла

Образец сосны	Δm^* , %	q^* , г/м ²
№ 1	–	–
№ 2	1,90	24,8
№ 3	1,73	22,9
№ 4	3,40	43,4

Расчетные формулы:

$$\Delta m^* = \frac{m_{\text{кон}} - m_{\text{исх}}}{m_{\text{исх}}} \times 100\%, \quad (1)$$

где Δm^* – прирост массы исследуемых образцов, г; $m_{\text{исх}}$ – масса исследуемого образца до пропитки, г; $m_{\text{кон}}$ – масса исследуемого образца после пропитки с последующей сушкой в течении нескольких суток, г

$$q^* = \frac{m_{\text{кон}} - m_{\text{исх}}}{S}, \quad (2)$$

где q^* – поглощение состава поверхностью образца, г/м²; S – поверхность образца, м²

Как следует из данных табл. 3, пропитка древесины раствором на основе жидкого стекла позволяет добиться поглощения большего количества огнезащитного состава древесиной в случае использования методик № 2, № 4 по сравнению с обработкой кистью, что обусловлено более глубоким проникновением раствора жидкого стекла в структуру древесины. Рост значений Δm^* в ряду образец № 3 < образец № 2 < образец № 4 соответствует увеличению интенсивности цвета древесины после пропитки. Таким образом, можно предположить, что показатель кислородного индекса огнезащищенной древесины будет иметь самое низкое значение для образцов сосны подготовленных по методике № 3.

Определение кислородного индекса исследуемых образцов производили по методике, приведенной в документе⁵, с использованием прибора Concept Equipment Oxygen Index Module. Результаты приведены в табл. 4–8.

В табл. 4–7 использовались обозначения «0» и «X». Их смысловая нагрузка приведена в п. 4⁶.

Таблица 4. Экспериментальные данные для определения кислородного индекса образца № 1

Содержание кислорода в кислородно-азотной среде, об. %	Результат
32	X
31	X
30	X
29	X
28	X
27	0
27	0
27,2	0
27,4	0
27,6	0
27,8	X
27,6	0
27,8	X
27,6	0
27,8	X

⁵ ГОСТ 12.1.044-89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»

⁶ Там же

Таблица 5. Экспериментальные данные для определения кислородного индекса образца № 2

Содержание кислорода в кислородно-азотной среде, об. %	Результат
28	0
30	0
32	0
34	0
36	0
38	X
37	X
37	X
36,8	X
36,6	0
36,8	X
36,6	0
36,8	X
36,6	0
36,8	X
36,6	0

Таблица 6. Экспериментальные данные для определения кислородного индекса для образца № 3

Содержание кислорода в кислородно-азотной среде, об. %	Результат
38	X
37	X
36	0
36	0
36,2	X
36,0	0
36,2	X
36,0	0
36,2	X

Согласно значениям, приведенным в табл. 8, показатель кислородного индекса древесины, не обработанной огнезащитным составом, составляет 27,4 об. %. Вместе с тем, общеизвестным является факт отнесения древесины к горючим материалам. Значение кислородного индекса любого материала не является параметром, количественно отражающим процессы, протекающие при воздействии на образец открытого пламени или позволяющим однозначно осуществлять градацию материалов по изменению их пожарной опасности. Сам метод определения кислородного индекса является сравнительным и позволяет определить лишь тенденцию к снижению пожарной опасности материалов. Экспериментально нами было установлено, что при поджигании исследуемых образцов снизу при концентрации кислорода ~ 19÷20 об. % (соответствует

Таблица 7. Экспериментальные данные для определения кислородного индекса образца № 4

Содержание кислорода в кислородно-азотной среде, об. %	Результат
38	X
37	X
36	0
36	0
36,2	0
36,4	0
36,6	0
36,8	X
36,6	0
36,8	X
36,6	0
36,8	X
36,6	0
36,8	X

Таблица 8. Результаты определения кислородного индекса исследуемых образцов

Образец сосны	Кислородный индекс, об. %
№ 1	$27,8 + (-0,45) \times 0,8 = 27,4$
№ 2	$36,6 + (-0,5) \times 0,4 = 36,4$
№ 3	$36,2 + (-0,5) \times 0,2 = 36,1$
№ 4	$36,8 + (-0,45) \times 0,8 = 36,4$

среднему содержанию кислорода в воздухе) наблюдалось стабильное горение образца необработанной древесины сосны, в то время как огнезащитные образцы горение не поддерживали.

Из данных табл. 4-8 следует, что обработка образцов сосны 40 % (по массе) раствором жидкого стекла в воде приводит к заметному росту кислородного индекса. Из сравнения значений Δm^* , представленных в табл. 3, следует, что наибольшее количество огнезащитного состава остается на поверхности образца сосны № 4. За счет расширения при нагревании образцов в горячей ванне из пустот древесины частично уходит воздух. Вода из внешних слоев древесины также может переходить в раствор. При погружении древесины в холодную ванну происходит ее охлаждение, объем паровоздушной смеси уменьшает-

ся и в наружных слоях образуется вакуум. Жидкость, в которой находится древесина, под действием атмосферного давления проникает в нее и пропитывает [15]. В результате этого, глубина пропитки древесины увеличивается, и можно было бы предположить, что в таком случае будет наблюдаться наибольшее снижение пожарной опасности древесины.

Однако, анализ данных табл. 8 позволяет заключить, что наибольшего увеличения значения кислородного индекса можно достичь и при нанесении состава на поверхность древесины путем погружения в раствор огнезащитного средства при комнатной температуре в течении 60 с (методика № 2) и при варианте «прогрев – холодная ванна» продолжительностью 30 с и 30 с соответственно (методика №4). Более низкое значение кислородного индекса для образца № 3, вероятно, связано с неоднородным нанесением раствора жидкого стекла на поверхность древесины кистью, о чем свидетельствует разброс значений прироста массы (m) исследуемых образцов. Если производить оценку пожарной опасности исследуемых образцов сосны на основании анализа значений кислородного индекса, то можно заключить, что использование различных спо-

собов пропитки древесины раствором на основе жидкого стекла не оказывает принципиального влияния на значение кислородного индекса огнезащитных образцов. Есть основания полагать, что, учитывая относительно небольшую толщину исследуемых образцов сосны, эффект от пропитки по методике №4 будет в значительной степени проявляться для образцов древесины большей толщины.

Таким образом, в работе проведено исследование влияния на пожарную опасность древесины способа пропитки образцов сосны 40 % (по массе) раствором жидкого стекла в воде. Пропитка древесины таким составом приводит к увеличению значения кислородного индекса ~ на 9 % и, как следствие, к снижению пожарной опасности. Установлено, что способ пропитки древесины оказывает влияние на прирост массы исследуемых образцов. Однако, корреляция значений Δm^* и кислородного индекса огнезащитной древесины отсутствует. Результаты работы имеют практическое значение при выборе рационального и обоснованного с экономической точки зрения способа нанесения огнезащитного средства на древесину сосны малой толщины.

Список литературы

1. Демидов П. Г., Шандыба В. А., Щеглов П. П. Горение и свойства горючих веществ. М.: Химия, 1981. 272 с.

2. Свиридов Л. Т., Ивановский А. В., Ивановский В. П. Обрабатываемость резанием древесины различных пород // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. № 6. С. 126–132.

3. Бельчинская Л. И., Новикова Л. А., Дмитренко А. И. Экология древесины. Воронеж. 2017. 33 с.

4. Серков Б. Б., Асеева Р. М., Сивенков А. Б. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины (часть 1) // Технологии техносферной безопасности. 2011. Вып. 6 (40). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

5. Серков Б. Б., Асеева Р. М., Сивенков А. Б. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины (часть 2) // Технологии техносферной безопасности. 2012. Вып. 1 (41). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

6. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.

7. Дашко И. В., Дашко Л. В. Анализ патентов на изобретения, связанных с огнезащитными составами для обработки древесины

// Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 1 (57). С. 39–49.

8. Панев Н. М. Анализ применения огнезащитных композиций для древесины и разработка методов контроля их наличия: дис. ... канд. техн. наук. 05.23.05. Иваново, 2020. 144 с.

9. Вопросы применения составов на основе органических соединений для снижения пожарной опасности древесины / Э. Ю. Дашев, Ж. Ф. Гессе, Д. Г. Снегирев [и др.] // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иваново Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 26–32.

10. Гессе Ж. Ф., Петров А. В. Влияние концентрации жидкого стекла в огнезащитной пропитке на воспламеняемость древесины // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 4 (11). С. 8–16.

11. Термогравиметрические исследования жидкого стекла в различных средах / Е. А. Сиплатов, А. Л. Никифоров, Ю. К. Нагановский [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. Вып. 2 (51). С. 94–100.

12. Корольченко О. Н. Зависимость пожарно-технических характеристик огнезащитной древесины от способа ее обработки //

Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: материалы V Международной научно-практической конференции. СПб.: Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности и охраны окружающей среды», 2022. С. 53–59.

13. Медведева Т. И., Касымов Д. П. Исследование влияния типа огнезащиты и способа ее нанесения на пожарную опасность древесины // Все грани математики и механики: сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции студентов. Томск: Томский государственный университет, 2021. С. 100–107.

14. Медведева Т. И., Агафонцев М. В., Касымов Д. П. Исследование влияния типа огнезащиты и способа ее нанесения на пожарную опасность древесины // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии: материалы XXII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н. Н. Яненко. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2021. С. 77–79.

15. Ломакин А. Д. Глубокая пропитка древесины средствами защиты от биоразрушения и возгорания // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 72–74.

References

1. Demidov P. G., Shandyba V. A., Shcheglov P. P. *Gorenie i svoystva goryuchih veshchestv* [Combustion and properties of combustible substances combustible]. M.: Himiya, 1981. 272 p.

2. Sviridov L. T., Ivanovskij A. V., Ivanovskij V. P. *Obrabatyvaemost' rezaniem drevesiny razlichnyh porod* [Machinability of wood by cutting of different types]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2010, issue 6, pp. 126–132.

3. Bel'chinskaya L. I., Novikova L. A., Dmitrenkov A. I. *Ekologiya drevesiny* [Wood ecology]. Voronezh, 2017. 33 p.

4. Serkov B. B., Aseeva R. M., Sivenkov A. B. *Fiziko-himicheskie osnovy goreniya i pozharnaya opasnost' drevesiny (chast' 1)* [Physicochemical principles of combustion and fire hazard of wood (part 1)]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2011, vol. 6 (40), URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

5. Serkov B. B., Aseeva R. M., Sivenkov A. B. *Fiziko-himicheskie osnovy goreniya i*

pozharnaya opasnost' drevesiny (chast' 2) [Physicochemical principles of combustion and fire hazard of wood (part 2)]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2012, vol. (41), URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

6. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Gorenie drevesiny i ee pozharoopasnye svoystva: monografiya* [Wood combustion and its fire hazardous properties: monograph]. M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2010. 262 p.

7. Dashko I. V., Dashko L. V. *Analiz patentov na izobreneniya, svyazannyh s ognezashchitnymi sostavami dlya obrabotki drevesiny* [Analysis of invention patents related to fire retardants for wood treatment]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2021, № 1 (57), pp. 39–49.

8. Panev N. M. *Analiz primeneniya ognezashchitnyh kompozitsij dlya drevesiny i razrabotka metodov kontrolya ih nalichiya*. Diss. kand. tekhn. nauk. [Analysis of the application of fire-retardant compositions for wood and development of methods for monitoring their presence. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2020. 144 p.

9. *Voprosy primeneniya sostavov na osnove organicheskikh soedinenij dlya snizheniya pozharnoj opasnosti drevesiny* [Application of compositions based on organic compounds to reduce the fire hazard of wood] / E. Yu. Dashev, Zh. F. Gesse, D. G. Snegirev [et al.]. *Estestvennye nauki i pozharobezopasnost': problemy i perspektivy issledovaniy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024, pp. 26–32.

10. Gesse Zh. F., Petrov A. V. *Vliyanie koncentracii zhidkogo stekla v ognezashchitnoj propitke na vosplamyaemost' drevesiny* [The influence of liquid glass concentration in fire-retardant impregnation on the flammability of wood]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'*, 2018, vol. 4 (11), pp. 8–16.

11. *Termogravimetricheskie issledovaniya zhidkogo stekla v razlichnyh sredah* [Thermogravimetric studies of liquid glass in various media] / E. A. Siplatov, A. L. Nikiforov, Yu. K. Naganovskij [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 94–100.

12. Korol'chenko O. N. *Zavisimost' pozharno-tekhnicheskikh harakteristik ognezashchishchennoj drevesiny ot sposoba ee obrabotki* [Dependence of fire-technical characteristics of fire-protected wood on the method of its Treatment]. *Teoreticheskie i prikladnye voprosy kom-*

pleksnoj bezopasnosti: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. SPb.: Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya «Sankt-Peterburgskiy institut prirodopol'zovaniya, promyshlennoy bezopasnosti i okhrany okruzhayushchey sredy», 2022, pp. 53–59.

13. Medvedeva T. I., Kasymov D. P. Issledovanie vliyaniya tipa ognezashchity i sposoba ee naneseniya na pozharnuyu opasnost' drevesiny [Investigation of the influence of the type of fire protection and the method of its application on the fire hazard of wood]. Vse grani matematiki i mekhaniki: sbornik trudov Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii studentov. Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy universitet, 2021, pp. 100–107.

14. Medvedeva T. I., Agafoncev M. V., Kasymov D. P. Issledovanie vliyaniya tipa

ognezashchity i sposoba ee naneseniya na pozharnuyu opasnost' drevesiny [Investigation of the influence of the type of fire protection and the method of its application on the fire hazard of wood]. Sopryazhennyye zadachi mekhaniki reagiruyushchih sred, informatiki i ekologii: materialy XXII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N. N. Yanenko. Tomsk: Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy gosudarstvennyy universitet, 2021, pp. 77–79.

15. Lomakin A. D. Glubokaya propitka drevesiny sredstvami zashchity ot biorazrusheniya i vozgoraniya [Deep impregnation of wood by protective agents to prevent biodegradation and combustion]. *Stroitel'nye materialy*, 2012, issue 6, pp. 72–74.

Гессе Женни Фердинандовна

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

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Gesse Zhenni Ferdinandovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Шабунин Сергей Александрович

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

кандидат химических наук

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Shabunin Sergey Aleksadrovich

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

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

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

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

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

Снегирев Дмитрий Геннадьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
E-mail: snegirev.1965@bk.ru

Snegirev Dmitry Gennadievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, docent, docent of the department
E-mail: snegirev.1965@bk.ru

УДК 614.843.2

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. О. КУРТОВ, В. П. МАЛЫЙ

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru, sietmen@yandex.ru

В статье предложена схема и метод экспериментального получения гидравлических сопротивлений напорных пожарных рукавов (с условными диаметрами Ду80, Ду65, Ду50), выполненных по новым технологиям со стенками из современных материалов. Предложенный метод основан на использовании созданной авторами ранее экспериментальной исследовательской установки ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. Представлены экспериментально полученные актуальные значения гидравлических сопротивлений латексированных напорных пожарных рукавов 20-метровой длины производства РУСАРСЕНАЛ. Зафиксированные результаты отличаются от действующих (табличных) на 36 % и более в зависимости от условного диаметра пожарного рукава.

Ключевые слова: пожарные напорные рукава, гидравлическое сопротивление, переходные соединительные головки, напор.

METHOD OF EXPERIMENTAL STUDY OF HYDRAULIC RESISTANCE OF PRESSURE FIRE HOSES MADE OF MODERN MATERIALS

S. O. KURTOV, V. P. MALY

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russia Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Zheleznogorsk
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru, sietmen@yandex.ru

The paper proposes a scheme and method of experimental obtaining of hydraulic resistance of pressure fire hoses (with conventional diameters of Du80, Du65, Du50) made by new technologies with walls made of modern materials. The proposed method is based on the use of the experimental research unit of the FGBOU VO Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire and Rescue Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia created by the authors earlier. Experimentally obtained actual values of hydraulic resistances of latexed pressure fire hoses of 20 - meter length produced by RUSARSENAL are presented. The recorded results differ from the actual (tabular) by 36 % and more depending on the conventional diameter of the fire hose.

Key words: fire pressure hoses, hydraulic resistance, transition coupling heads, pressure.

Введение

Анализ научных публикаций [1, 2, 3, 4, 5, 6], связанных с необходимостью уточнения фактических значений гидравлических сопротивлений рукавов пожарных напорных (далее РПН), выполненных из современных материалов, свидетельствует о высокой актуальности исследований, проводимых в данной области. Большинство авторов при проведении расчетов работоспособности насосно-рукавных систем используют значения гидравлических сопротивлений РПН, которые были получены

более 20 лет назад, несмотря на то, что производители при изготовлении РПН в качестве внутреннего гидроизоляционного покрытия начали использовать совершенно новые материалы [3].

Целью настоящей работы является экспериментальное определение фактических значений гидравлических сопротивлений РПН, выполненных из современных материалов рядом российских производителей и необходимых для составления более обоснованных и эффективных насосно-рукавных систем при тушении пожаров.

Методы исследования

В ходе выполнения данной работы авторы применяли такие теоретические и экспериментальные методы, как обобщение, сравнение, дедукция, обработка и анализ экспериментальных данных.

Основная часть

Для решения поставленной цели на базе Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (далее – Академия) силами профессорско-преподавательского состава была спроектирована и смонтирована

экспериментально-исследовательская установка (далее – ЭИУ) [7]. С использованием ЭИУ проведены исследования гидравлических сопротивлений латексированных РПН производства РУСАРСЕНАП с условными диаметрами Ду80, Ду65, Ду50. Принципиальная схема, используемая для получения экспериментальных фактических значений гидравлических сопротивлений РПН 20-метровой длины с условными проходами Ду80, Ду65, Ду50 представлена на рис.1.

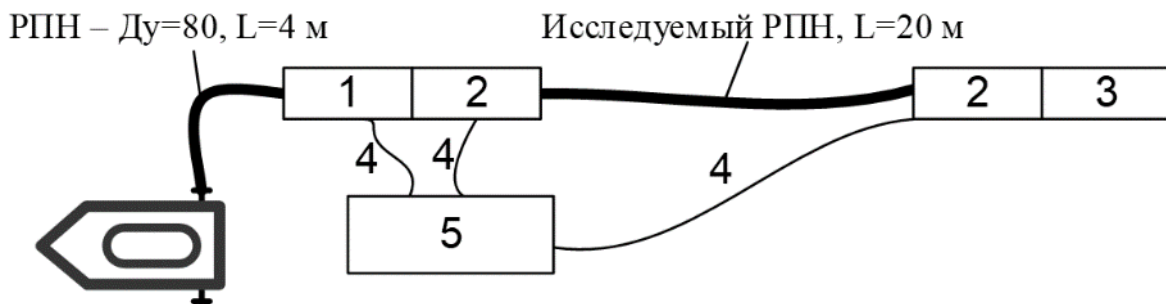


Рис. 1. Принципиальная схема, используемая для получения экспериментальных фактических значений гидравлических сопротивлений РПН с условным проходом Ду80, Ду65, Ду50

На рис. 1 обозначено следующее оборудование, элементы, приборы:

1 – ИРВ с условным проходом Ду80 (с электромагнитным расходомером МФ-80 (5.2.2) класс Б (0,1 м/имп) и термопреобразователем ТПТ-1-3-100П-А4-Н-60/8 для измерения температуры огнетушащего вещества непосредственно в потоке;

2 – Вставка с электронным манометром СДВ-И-2,50-1,60-1,00 М(1,6)-4-20 мА для измерения давления;

3 – Устройство (фиксатор свободного конца, испытываемого РПН), выполненное авторами из стальной трубы с условным проходом Ду80, обеспечивающее безопасность проводимых гидравлических исследований;

4 – линии связи от приборов измерения к тепловычислителю СПТ941.20;

5 – тепловычислитель СПТ941.20: приемно-контрольный прибор, предназначенный для регистрации и визуализации параметров (избыточного давления, температуры, расхода) и далее выводы параметров на ЭВМ.

Общий вид реализованной схемы измерений представлен на фото (рис. 2).

Полученные значения расхода и давления при температуре воды 17 °С, в результате проведенного эксперимента по определению гидравлического сопротивления латексированных РПН 20-метровой длины с условными проходами Ду80, Ду65, Ду50 приведены в табл. 1.



Рис. 2. Экспериментальная установка в сборе, использованная для получения фактических значений гидравлических сопротивлений РПН со стенками из современных материалов с условным проходом Ду80, Ду65, Ду50

Таблица 1. Фактические значения гидравлических сопротивлений латексированных РПН производства РУСАРСЕНАЛ 20-метровой длины с условным проходом Ду80, Ду65, Ду50

Расход воды Q_1 по РПН, $м^3/ч$	Расход воды Q_1 по РПН, $л/с$	Давление в начале РПН P_1 $кгс/см^2$	Давление в конце РПН P_2 $кгс/см^2$	Перепад давления ΔP , между P_1 и P_2 $кгс/см^2$	Перепад напора ΔH , м	Гидравлическое сопротивление РПН (20 м) $S_{РПН}$, $(с^2/л^2) \times м$
Латексированный РПН 20-метровой длины с условным проходом Ду80						
49,3	13,69	1,48	1,12	0,36	3,6	0,0096
89,1	24,75	3,31	2,23	1,08	10,8	0,0088
132,0	36,6	6,13	3,93	2,2	22,0	0,0082
Среднее значение						0,0088
Латексированный РПН 20-метровой длины с условным проходом Ду65						
45,6	12,6	1,74	1,03	0,71	7,1	0,022
79,7	22,14	3,94	1,9	2,04	20,4	0,021
115,3	32,0	7,23	3,11	4,12	41,2	0,020
Среднее значение						0,021
Латексированный РПН 20-метровой длины с условным проходом Ду50						
28,1	7,8	2,29	1,06	1,23	12,3	0,10
43,6	12,1	4,49	1,64	2,85	28,5	0,097
57,7	16,0	7,04	2,34	4,7	47,0	0,091
Среднее значение						0,096

Для определения расчетных фактических значений гидравлических сопротивлений латексированных РПН 20-метровой длины использовали формулу для расчета потерь напора H_c в рукавных системах при турбулентном режиме течения жидкости [3]:

$$H_c = n \times S_p \times Q^2, \text{ м.} \quad (1)$$

где n – количество пожарных рукавов в рассматриваемой линии (при проведении экспериментальных исследований использовали один РПН), шт.; S_p – гидравлическое сопротивление одного пожарного рукава длиной 20 метров в зависимости от типа и диаметра, $((с/л)^2 \times м)$; Q – объемное количество огнетушащих веществ (расход), проходящих по рассматриваемой рукавной линии в единицу времени, л/с.

Из формулы 1 выражаем гидравлическое сопротивление РПН:

$$S_p = \frac{\Delta H_c}{n \times Q^2}, ((с/л)^2 \times м). \quad (2)$$

При анализе экспериментально полученных фактических значений гидравлических сопротивлений латексированных РПН 20-метровой длины с условными проходами Ду80, Ду65, Ду50 (табл. 1) производства РУСАРСЕНАЛ выявлено, что максимальные табличные значения гидравлических сопротивлений, прорезиненных РПН 20-метровой длины условным проходом Ду80, Ду65, Ду50, проанализированные авторами в научной публикации [3], существенно отличаются от полученных экспериментальных значений. Для проведения наглядного сравнительного анализа полученных экспериментальных значений гидравлических сопротивлений латексированных РПН 20-метровой длины с максимальными табличными значениями гидравлических сопротивлений РПН авторами составлена табл. 2.

Таблица 2. Существующие табличные и полученные экспериментальные значения гидравлических сопротивлений РПН 20-метровой длины с условным проходом Ду80, Ду65, Ду50

Ду РПН	Максимальные табличные значения гидравлических сопротивлений $S_{РПН}^{табл}$, прорезиненных РПН 20-метровой длины $((с/л)^2 \times м)$	Экспериментальные значения гидравлических сопротивлений $S_{РПН}^{эксп}$, латексированных РПН 20-метровой длины $((с/л)^2 \times м)$	Относительное отличие полученных экспериментальных значений $S_{РПН}^{эксп}$ с табличными $S_{РПН}^{табл}$ в процентах
50	0,15	0,096	36
65	0,035	0,021	40
80	0,015	0,0088	41

Для РПН с условным проходом Ду80 относительное отличие полученных экспери-

$$\delta(S_{\text{РПН}}^{\text{Ду80}}) = \frac{|S_{\text{табл}}^{\text{Ду80}} - S_{\text{эксп}}^{\text{Ду80}}|}{S_{\text{табл}}^{\text{Ду80}}} \times 100\% = \frac{|0,0150 - 0,0088|}{0,0150} \times 100\% \cong 41\%.$$

Для РПН с условным проходом Ду65 относительное отличие полученных экспери-

$$\delta(S_{\text{РПН}}^{\text{Ду65}}) = \frac{|S_{\text{табл}}^{\text{Ду65}} - S_{\text{эксп}}^{\text{Ду65}}|}{S_{\text{табл}}^{\text{Ду65}}} \times 100\% = \frac{|0,0350 - 0,021|}{0,0350} \times 100\% \cong 40\%.$$

Для РПН с условным проходом Ду50 относительное отличие полученных экспери-

$$\delta(S_{\text{РПН}}^{\text{Ду50}}) = \frac{|S_{\text{табл}}^{\text{Ду50}} - S_{\text{эксп}}^{\text{Ду50}}|}{S_{\text{табл}}^{\text{Ду50}}} \times 100\% = \frac{|0,150 - 0,096|}{0,150} \times 100\% \cong 36\%.$$

Дискуссия

На необходимость в кратчайшие сроки провести измерения актуальных значений гидравлических сопротивлений пожарных рукавов, поставляемых современными изготовителями, было обращено внимание как высшего руководства МЧС, так и ряда авторитетных научно-практических специалистов многих организаций и вузов министерства. Проблема заключается в выборе наиболее готовых к выполнению этой работы специалистов и организаций. На прошедшем международном салоне «Комплексная безопасность – 2024» авторы данной статьи выступили с докладом на XXXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 375-й годовщине образования пожарной охраны России на тему «Подход к исследованию основных теплогидравлических параметров работы элементов насосно-рукавных систем, используемых при тушении пожаров» [8], на который получили положительную реакцию участников. В проекте Решения этой конференции предполагается зафиксировать полученные результаты работы и привлечь авторов к продолжению и развитию темы обновления значений теплогидравлических параметров всех элементов насосно-рукавных систем, в том числе, в условиях критически низких температур Арктической Зоны России. Авторы надеются, что пионеры исследований по данной тематике из Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Алешков М. В., Храмов С. П., Двоенко О. В., Ольховский И. А.) и другие научно-исследовательские центры МЧС поддержат усилия авторов данной статьи и займут соответствующее место в создающемся общеминистерском коллективе исследова-

ментальных значений $S_{\text{РПН}}^{\text{эксп}}$ с табличными $S_{\text{РПН}}^{\text{табл}}$ в процентах определяли по формуле:

ментальных значений $S_{\text{РПН}}^{\text{эксп}}$ с табличными $S_{\text{РПН}}^{\text{табл}}$ в процентах определяли по формуле:

ментальных значений $S_{\text{РПН}}^{\text{эксп}}$ с табличными $S_{\text{РПН}}^{\text{табл}}$ в процентах определяли по формуле:

телей, занимающихся разработкой сходных (близких) тем.

Заключение

1. Показана актуальность темы экспериментального определения значений гидравлических сопротивлений РПН со стенками из современных материалов и выполненных по современным технологиям.

2. Предложена схема и метод экспериментального получения актуальных значений гидравлических сопротивлений РПН с использованием имеющейся экспериментальной исследовательской установки Академии.

3. Получены актуальные значения гидравлических сопротивлений РПН со стенками из современных материалов и выполненных по современным технологиям. Зафиксированные результаты отличаются от действующих (табличных) на 36% и более в зависимости от условного диаметра пожарного рукава.

Рекомендации

1. Продолжить исследования по измерению гидравлических сопротивлений РПН других фирм-производителей, для чего провести контрольную закупку соответствующих пожарных рукавов.

2. После завершения измерений выступить с предложением о внесении актуальных (новых) значений гидравлических сопротивлений РПН в справочники руководителей тушения пожаров. Полученные фактические значения гидравлических сопротивлений РПН предлагается использовать в существующей методике расчета предельных расстояний прокладки рукавных линий, как при тушении реальных пожаров, так и при изучении дисциплины «Пожарная тактика» в учебных заведениях МЧС России.

Список литературы

1. Нелюбов В. Н. Критический анализ способов расчета подачи огнетушащих веществ в перекачку на большие расстояния // Пожарная безопасность. 2024. № 2(115). С. 23–30. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2024.115.2.002. EDN: SJUPCH.
2. Бубнов В. Б., Ведяскин Ю. А. Исследование гидropотерь в насосно-рукавных системах и совершенствование методик их гидравлического расчета // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 80–86. EDN: QIYSIT.
3. Малый В. П., Куртов С. О., Яровой В. Ю. О необходимости уточнения гидравлических характеристик, поступающих в подразделения МЧС России новых пожарных рукавов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1(24). С. 54–61. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.84.93.008.
4. Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов / О. Д. Навроцкий, Р. Н. Михалев, А. В. Грачулин [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6, № 1. С. 74–83. DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74. EDN: SJOMOD.
5. Бубнов В. Б., Люсов Е. Ю., Ковырзин М. С. Разработка рекомендаций по определению гидравлических сопротивлений рукавных линий // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 16–19. EDN: AGODMJ.
6. Малютин О. С., Васильев С. А. Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 4 (11). С. 67–72.
7. Обоснование выбора состава экспериментально-исследовательской установки для измерения теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем / В. П. Малый, С. О. Куртов, А. С. Лунев [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 2 (54). С. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.
8. Трояк А. Ю., Куртов С. О. Подход к исследованию основных теплогидравлических параметров работы элементов насосно-рукавных систем, используемых при тушении пожаров // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXVI Международ-

ной научно-практической конференции, посвященной 375-й годовщине образования пожарной охраны России. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2024. С. 688–696. EDN: RIGQRV.

References

1. Nelyubov V. N. Kriticheskij analiz sposobov rascheta podachi ognetushashhix veshhestv v perekachku na bol'shie rasstoyaniya [Critical analysis of the methods of calculation of the fire extinguishing substances supply to the long-distance pumping]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2024, vol. 2 (115), pp. 23–30. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2024.115.2.002. EDN: SJUPCH.
2. Bubnov V. B., Vedyaskin Yu. A. Issledovanie gidropoter` v nasosno-rukavny`x sistemax i sovershenstvovanie metodik ix gidravlicheskogo rascheta [Investigation of hydraulic losses in pump-hose systems and improvement of methods of their hydraulic calculation]. *Aktual`ny`e voprosy` sovershenstvovaniya inzhenerny`x sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob`ektov: sbornik materialov X Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023, pp. 80–86. EDN: QIYSIT.
3. Maly`j V. P., Kurtov S. O., Yarovoj V. Yu. O neobxodimosti utochneniya gidravlicheskih karakteristik, postupayushhix v podrazdeleniya MChS Rossii novy`x pozharny`x rukavov [On the need to clarify the hydraulic characteristics of the new fire hoses coming to the units of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Sibirskij pozharno-spatel'ny`j vestnik*, 2022, vol. 1 (24), pp. 54–61. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.84.93.008.
4. Gidravlichesкое soprotivlenie naporny`x pozharny`x rukavov [Hydraulic resistance of pressure fire hoses] / O. D. Navroczkij, R. N. Mixalev, A. V. Grachulin [et al.]. *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashhity` MChS Belarusi*, 2022, vol. 6, issue 1, pp. 74–83. DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74. EDN: SJOMOD.
5. Bubnov V. B., Lyusov E. Yu., Kovy`rzin M. S. Razrabotka rekomendacij po opredeleniyu gidravlicheskih soprotivlenij rukavny`x linij [Development of recommendations for determining the hydraulic resistance of hose lines]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': sbornik materialov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 30-j godovshhine MChS Rossii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2020, pp. 16–19. EDN: AGODMJ.
6. Malyutin O. S., Vasil`ev S. A. Problema gidravlicheskogo rascheta nasosno-

rukavny`x sistem v pozharnoj taktike [The problem of hydraulic calculation of pump-and-sleeve systems in fire tactics]. *Sibirskij pozharно-spasatel`nyj vestnik*, 2018, vol. 4 (11), pp. 67–72.

7. Obosnovanie vy`bora sostava e`ksperimental`no-issledovatel`skoj ustanovki dlya izmereniya teplogidravlicheskix parametrov e`lementov nasosno-rukavny`x sistem [Justification of the choice of the composition of the experimental and research installation for measuring the thermal-hydraulic parameters of the elements of the pump-hose systems] / V. P. Maly`j, S. O. Kurtov, A. S. Lunev [et al.]. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*, 2024, vol. 2 (54), pp. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.

8. Troyak A. Yu., Kurtov S. O. Podxod k issledovaniyu osnovny`x teplogidravlicheskix parametrov raboty` e`lementov nasosno-rukavny`x sistem, ispol`zuemy`x pri tushenii pozharov [Approach to the study of the main thermal-hydraulic parameters of the elements of pump-hose systems used in fire extinguishing]. *Aktual`ny`e problemy` pozharnoj bezopasnosti: materialy` XXXVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 375-j godovshhine obrazovaniya pozharnoj ohrany` Rossii*. Moscow: Vserossijskij nauchno-issledovatel`skij institut protivopozharnoj oborony` MChS RF, 2024, pp. 688–696. EDN: RIGQRV.

Куртов Сергей Олегович

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Железнодорожск
преподаватель кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Kurtov Sergey Olegovich

FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Russian Federation, Zheleznogorsk
Lecturer of the Department of Fire Tactics and Rescue Operations
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Мальи Виталий Петрович

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Железнодорожск
доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики, математики и информационных технологий
E-mail: sietmen@yandex.ru

Maly Vitaly Petrovich

FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Russian Federation, Zheleznogorsk
Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Physico-mathematical Sciences, Professor of the Department of Physics, Mathematics and Information Technologies
E-mail: sietmen@yandex.ru

УДК 614.842.65

ПЕРЕКАЧКА. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

Ю. П. САМОХВАЛОВ, А. В. ЕРМИЛОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: suptr49@mail.ru, skash_666@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы определения расходов пожарных рукавных линий в зависимости от напора в конце рукавных линий. При перекачке «из насоса в насос» определены минимальный и максимальный напоры на входе во всасывающую полость перекачивающего насоса при оптимальной скорости движения воды по пожарным рукавам. Определены напоры на входе в перекачивающий насос для основных схем боевого развертывания от головного пожарного автомобиля. Внесены поправки в существующую методику расчета параметров перекачки воды на тушение пожара [1, 5] в части соответствия количества перекачиваемой воды – количеству расходуемой воды. Проведено сравнение существующей и предлагаемой методик расчета параметров перекачки.

Ключевые слова: перекачка; мобильное средство пожаротушения; рукавная линия; ступень перекачки; напор в конце рукавной линии; водоотдача.

PUMPING. CALCULATION OF PARAMETERS

Y. P. SAMOKHVALOV, A. V. ERMILOV

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: suptr49@mail.ru, skash_666@mail.ru

The article considers the issues of determining the costs of fire hose lines depending on the pressure at the end of the hose lines. When pumping «from pump to pump», the minimum and maximum pressures at the inlet to the suction cavity of the pumping pump are determined at the optimal speed of water movement through the fire hoses. The pressures at the inlet to the pumping pump for the main combat deployment schemes from the head fire truck have been determined. Amendments have been made to the existing methodology for calculating the parameters of pumping water to extinguish a fire in terms of matching the amount of pumped water to the amount of water consumed. The comparison of the existing and proposed methods for calculating pumping parameters is carried out.

Keywords: pumping; mobile fire extinguishing agent; sleeve line; pumping stage; pressure at the end of the sleeve line; water output.

Введение

По подаче воды из удаленных водисточников на тушение пожара и ее перекачки, написано немало учебников по противопожарному водоснабжению, пожарной тактике; различного рода учебных пособий.

Кроме определения количества пожарных автомобилей (ПА), необходимых для перекачки воды к месту пожара, рассчитываются такие параметры как:

- напор на насосе головного ПА;
- количество пожарных рукавов в рукавных линиях от водоисточника до разветвления, установленного у места пожара;
- количество пожарных рукавов в ру-

кавных линиях в ступени перекачки (расстояние между ПА при перекачке);

- количество пожарных рукавов в рукавных линиях от головного ПА до разветвлений, установленных у места пожара.

В предлагаемых методиках расчета требуемых параметров в основу положено утверждение: «При перекачке из «насоса в насос» на конце магистральной рукавной линии (при входе во всасывающую полость следующего насоса) необходимо поддерживать напор не менее 10 м водного столба, при перекачке из «насоса в цистерну» не менее 3,5–4 м водного столба; при перекачке через промежуточную емкость воду подают, как правило, на излив с небольшим напором на конце линии (если емкость подземная) или с подпо-

ром, немного большим высоты размещения емкости, если она наземная» [1].

Данное утверждение не совсем верное. Отсутствует баланс между перекачиваемым количеством воды к месту пожара и количеством воды, расходуемой на тушение пожара.

Согласно проведенным расчетам (перекачка по пожарным рукавам диаметром 77 мм) при выше указанных значениях напора на конце магистральной рукавной линии, их водоотдача составляет (табл. 3):

- напор перед всасывающей полостью перекачивающего насоса 10 м водного столба (перекачка «из насоса в насос») – количество воды, поступающей в перекачивающий насос – 6,52 л/с;

- напор в конце магистральной рукавной линии 4 м водного столба (перекачка «из насоса в цистерну»), водоотдача рукавной линии – 4,13 л/с;

- напор в конце магистральной рукавной линии 2 м водного столба (перекачка «из насоса через промежуточную емкость», на излив), водоотдача рукавной линии – 2,92 л/с.

Откуда берется вода на тушение пожара, при подаче 2-х и более стволов (расход ствола РСК-50 – 3,5 л/с, расход ствола РС-70 – 7,0 л/с) – вопрос?

При определении длины ступени перекачки в расчетную формулу, независимо от количества воды, необходимой на тушение пожара, ликвидацию последствий чрезвычайной ситуации, подставляются выше перечисленные значения напора в конце рукавной линии. В итоге, полученные результаты расчета

не соответствуют истинным значениям.

Данная ошибка оказывает существенное влияние на достоверность величин при расчете других параметров перекачки.

В предлагаемой методике расчета параметров перекачки выявленные недочеты устранены.

Перекачка

Основная задача перекачки воды на тушение пожара – обеспечение бесперебойной подачи воды к месту тушения пожара.

Оптимальным расстоянием для организации перекачки воды к месту пожара следует считать [1, 2, 3]:

- при наличии в гарнизоне 2-х рукавных автомобилей – 3 км;

- при наличии в гарнизоне 1-го рукавного автомобиля – 2 км;

- при отсутствии в гарнизоне рукавных автомобилей – 1 км.

Перекачка воды на тушение пожара осуществляется по одной или двум рукавным линиям следующими способами:

- «из насоса в насос» следующего ПА;
- «из насоса в цистерну»;
- «из насоса через промежуточную емкость».

В отдельных случаях применяют комбинацию данных способов перекачки.

Для прокладки рукавных линий используют напорные пожарные рукава диаметром 66 мм, 77 мм, 150 мм, длиной 20 м. Тактико-технические данные напорных пожарных рукавов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Тактико-технические данные напорных пожарных рукавов длиной 20 м

Показатели	Условный проход (DN)		
	65	80	150
Внутренний диаметр, мм	66±2	77±2	150±3
Пропускная способность рукава, л/с	17,1	23,3	160
Емкость (объем) рукава, л	70	90	350
Сопrotивление одного рукава (S_p):			
– прорезиненного	0,034	0,015	0,00046
– непрорезиненного	0,077	0,03	
Рабочее давление, МПа	1,6	1,6	1,2
Испытательное давление, МПа	2,0	2,0	1,4
Разрывное давление, МПа	3,5	3,5	2,4
Расход при скорости движения воды 1 м/с, л/с	3,42	4,66	17,66
Нормальная скорость движения воды в рукавах	1 – 3 м/с		

Наиболее сложным в техническом отношении способов перекачки является перекачка из «насоса в насос». Учитывая тактико-технические характеристики пожарных насосов, напор воды при входе во всасывающую полость насоса, с одной стороны не должен

быть не менее 0,1 МПа (образование вакуума недопустимо, т.к. это может привести к сплюсыванию пожарных рукавов, уменьшению и даже полному прекращению подачи воды) [1], с другой стороны – не более 0,6 МПа [4].

При организации подачи воды в перекачку необходимо предусмотреть резерв пожарных рукавов из расчета один рукав на каждые 100 м линии перекачки.

Основное условие перекачки: «Независимо от способов перекачки количество перекачиваемой воды к месту пожара на входе в цистерну пожарного автомобиля (перекачка «из насоса в цистерну»), на входе в промежуточную емкость (перекачка «из насоса в промежуточную емкость»), на входе в насос следующего пожарного автомобиля (перекачка из «насоса в насос») – должно быть больше или равно количеству воды необходимого на тушение пожара».

$$Q_{\text{ПЕР}} \geq Q_{\text{Т}},$$

где: $Q_{\text{ПЕР}}$ – количество перекачиваемой воды к месту тушения пожара, л/с; $Q_{\text{Т}}$ – количество воды расходуемой на тушение пожара, л/с.

$$Q_{\text{Т}} = \sum N_{\text{СТВ}} \cdot q_{\text{СТВ}},$$

где: $N_{\text{СТВ}}$ – количество пожарных стволов (приборов тушения) задействованных на тушение пожара; $q_{\text{СТВ}}$ – расход пожарного ствола (прибора тушения), л/с.

Наибольшее распространение при тушении пожаров водой, получили ручные пожарные стволы с диаметрами насадки на стволе 13 мм, 16 мм, 19 мм, 22 мм, 25 мм; лафетные пожарные стволы с диаметрами насадки на стволе 28 мм, 32 мм, 38 мм. В расчетах рабочими напорами для ручных стволы с насадками 13, 19, 25, мм следует считать напоры в пределах 35÷40 м; для лафетных стволы с насадками 28 мм и выше – от 50 до 60 м (табл. 2).

Для проливки конструкций на пожаре могут применяться струи с напором 10÷15 м.

Таблица 2. Расходы воды из пожарных стволы

Напор на насадке ствола ($H_{\text{СТВ}}^H$), м	Расход воды в л/с из стволы с диаметром насадка, мм						
	ручные		лафетные				
	13 мм	19 мм	25 мм	28 мм	32 мм	38 мм	50 мм
30*	3,2	6,4	11,9				
35	3,5	7,0	12,8				
40	3,7	7,4	13,7	17,0	23,0	32,0	55,0
50	4,1	8,2	15,3	19,0	25,0	35,0	61,0
60	4,5	9,0	16,7	21,0	28,0	38,0	67,0

* При данном напоре на насадке ствола радиус компактной части струи менее 17 м.

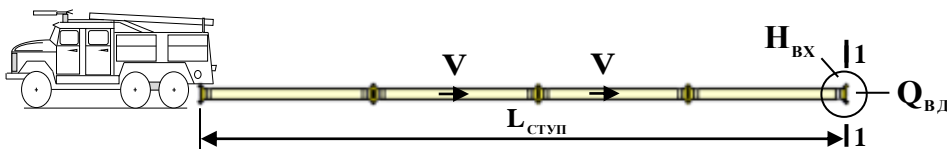


Рис. 1. Ступень перекачки

Количество перекачиваемой воды зависит от водоотдачи рукавной линии при входе ее во всасывающую полость следующего насоса, в емкость МСП, в промежуточную емкость.

Водоотдача зависит от скорости движения воды в рукавной линии и диаметра пожарных рукавов, из которых проложена рукавная линия. В свою очередь скорость движения воды по пожарным рукавам зависит от напора в конце рукавной линии.

Для определения скорости потока воды в рукавной линии составим уравнение Бернулли для сечения 1 – 1 при $Z=0$ (рис. 1).

$$H_{\text{ВХ}} = \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z,$$

где $H_{\text{ВХ}}$ – напор в конце рукавной линии; $P/\rho g$ – пьезометрический напор (давление на стенке пожарного рукава); $V^2/2g$ – скоростной напор.

С учетом того, что пьезометрический напор при выходе потока воды из рукавной линии в атмосферу равен нулю ($P/\rho g = 0$), из уравнения Бернулли определим скорость потока воды.

$$V = \sqrt{2g \cdot H_{\text{ВХ}}}.$$

Тогда формула, для определения водоотдачи рукавной линии (секундный расход), примет следующий вид

$$Q_{\text{ВД}} = V \cdot \omega_p = \omega_p \cdot \sqrt{2g \cdot H_{\text{ВХ}}},$$

где: $Q_{\text{ВД}}$ – водоотдача рукавной линии, л/с;

$H_{\text{ВХ}}$ – напор в конце рукавной линии;

V – скорость потока воды в рукавной линии;
 ω_p – площадь «живого сечения» пожарного рукава, из которых проложена рукавная линия;
 g – ускорение свободного падения.

Величины водоотдачи напорных пожарных рукавных линий, в зависимости от напора в конце рукавных линий, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Водоотдача напорных пожарных рукавных линий, в зависимости от напора в конце рукавных линий

$H_{\text{ВХ}}$, напор, м	V , скорость воды, м/с	$Q_{\text{ВД}}$, водоотдача, л/с		
		Диаметр пожарных рукавных линий		
		66 мм	77 мм	150 мм
2,0	0,63	2,14	2,92	11,06
3,0	0,77	2,62	3,57	13,55
4,0	0,89	3,03	4,12	15,65
5,0	0,99	3,39	4,61	17,49
6,0	1,09	3,71	5,05	19,16
7,0	1,17	4,0	5,45	20,7
8,0	1,25	4,28	5,83	22,13
9,0	1,33	4,54	6,19	23,47
10,0	1,4	4,79	6,52	24,74
11,0	1,47	5,0	6,84	25,95
12,0	1,53	5,25	7,14	27,1
13,0	1,6	5,46	7,43	28,2
14,0	1,66	5,67	7,71	29,27
15,0	1,72	5,87	8,0	30,3
16,0	1,77	6,06	8,25	31,29
17,0	1,83	6,24	8,5	3236
18,0	1,88	6,43	8,75	33,19
19,0	1,93	6,6	9,0	34,1
20,0	1,98	6,77	9,22	34,99
21,0	2,03	6,94	9,45	35,85
22,0	2,08	7,1	9,67	36,7
23,0	2,12	7,26	9,89	37,52
24,0	2,17	7,42	10,1	38,33
25,0	2,21	7,57	10,3	39,12
26,0	2,26	7,72	10,5	39,89
27,0	2,3	7,87	10,7	40,65
28,0	2,34	8,0	10,9	41,4
(29,0)	← 2,39 ←	← 8,16 ←	(11,1)	42,13
30,0	2,43	8,3	11,3	42,85
40,0	2,8	9,58	13,0	49,48
46,0	3,0	10,3	14,0	53,0
50,0	3,13	10,71	14,58	55,32
60,0	3,43	11,73	15,97	60,6
70,0	3,71	12,67	17,25	65,46
80,0	3,96	13,55	18,44	69,98
90,0	4,2	14,37	19,6	74,22
100,0	4,43	15,15	20,62	78,24
110,0	4,65	15,9	21,62	82,05
120,0	4,85	16,6	22,53	85,7
128,0	5,0	17,14 проп. спос.	23,32 проп. спос.	88,51

□ – область значений, при которых скорость движения воды больше 3 м/с (см. табл. 1).

– пример определения $H_{\text{ВХ}}$ для $Q_{\text{ВД}} = 11,1$ л/с.

Анализируя данные табл. 3 приходим к следующим выводам.

Принимая во внимание оптимальную скорость движения воды по рукавным линиям $1,0 \div 3,0$ м/с (табл. 1) напор в конце рукавной линии в расчетах следует принимать для пожарных насосов с резиновыми уплотнительными сальниками:

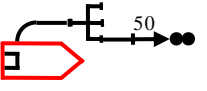
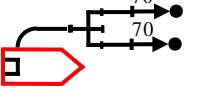
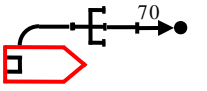
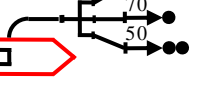
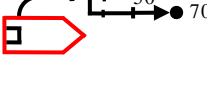
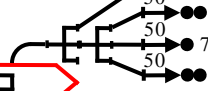
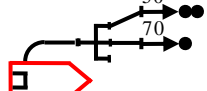
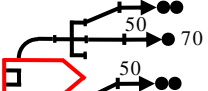
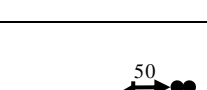

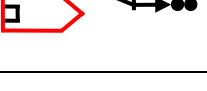

1. Для перекачки «из насоса в цистерну» – $0,05 \div 0,4$ МПа;
2. Для перекачки «из насоса в промежуточную емкость» – $0,05 \div 0,4$ МПа;
3. Для перекачки «из насоса в насос» – $0,1 \div 0,4$ МПа.
4. Для пожарных насосов с графитовыми уплотнительными сальниками верхняя гра-

ница напора в конце рукавной линии составляет $0,46$ МПа;

Основные схемы тушения пожара от головного ПА (схемы боевого развертывания), расходы на тушение пожара приведены в табл. 4.

В табл. 5 приведены значения рекомендуемых напоров в конце рукавной линии: на входе: во всасывающую полость следующего насоса; в емкость МСП; в промежуточную емкость для пожарной рукавной линии диаметром 77 мм, подставляемые в расчетную формулу по определению длины ступени перекачки.

Таблица 4. Расходы на тушение пожара. Схемы боевого развертывания от головного пожарного автомобиля

Перекачка по одной рукавной линии					Перекачка по двум рукавным линиям				
№	Схема боевого развертывания	Приборы тушения	Расход, при напоре на насадке ствола, л/с		№	Схема боевого развертывания	Приборы тушения	Расход, при напоре на насадке ствола, л/с	
			0,35 МПа	0,4 МПа				0,35 МПа	0,4 МПа
1.		РСК-50	3,5	3,7	3а.		2 РС-70	14,0	14,8
2.		РС-70	7,0	7,4	5а.		2 РСК-50 и 1 РС-70	14,0	14,8
3.		2 РСК-50 или 2 РС-70	7,0 или 14,0	7,4	7а.		4 РСК-50 или 3 РСК-50 и 1 РС-70	14,0	14,8* 17,5* 18,5*
4.		1 РСК-50 и 1 РС-70	10,5	11,1	7б.		4 РСК-50 или 3 РСК-50 и 1 РС-70	14,0	14,8* 17,5* 18,5*
5.		3 РСК-50	10,5	11,1	8.		5 РСК-50	17,5	18,5
6.		2 РСК-50 и 1 РС-70	14,0		8а.		5 РСК+50 или 4 РСК-50 и 1 РС-70	17,5 21,0	18,5 22,2

Перекачка по одной рукавной линии				Перекачка по двум рукавным линиям					
№	Схема боевого развертывания	Приборы тушения	Расход, при напоре на насадке ствола, л/с		№	Схема боевого развертывания	Приборы тушения	Расход, при напоре на насадке ствола, л/с	
			0,35 МПа	0,4 МПа				0,35 МПа	0,4 МПа
7.		4 РСК-50	14,0		9.		4 РСК-50 и 2 РС-70	28,0	
					10.		ПЛС-20		20,0
					11.		4 РСК-50		28,0

Таблица 5. Рекомендуемые напоры в конце рукавной линии при перекачке воды к месту тушения пожара

Перекачка по 1-й рукавной линии				Перекачка по 2-м рукавным линиям			
Q_T , расход на тушение, л/с	№ схемы БР (табл. 5)	* $H_{ВХ}$, напор, м	* $Q_{ВД}$, водоотдача, л/с	Q_T , расход на тушение, л/с	№ схемы БР (табл. 5)	* $H_{ВХ}$, напор, м	* $Q_{ВД}$, водоотдача, л/с
3,5	1	2,9	3,5	14,0	3а, 5а, 7а, 7б	12,0	7
3,7	1, 2	3,3	3,7	14,8	5а, 7а, 7б	13,0	7,4
7,0	2, 3	12,0	7,0	17,5	8, 8а	18,0	8,75
7,4	2, 3	13,0	7,4	18,5	7а, 7б, 8, 8а	21,0	9,25
10,5	4, 5	26,0	10,5	20,0	10	24,0	10,0
11,1	4, 5	29,0	11,1	21	8а	26,0	10,5
14,0	6, 7	46,0	14,0	22,2	8а	29,0	11,1
				28,0	9, 11	46,0	14

* Величины $H_{ВХ}$, $Q_{ВД}$ приведены для одной магистральной рукавной линии.

Учитывая вышеизложенное, предлагается следующий порядок расчета параметров перекачки.

Методика расчета параметров перекачки

1. Для выбранного способа перекачки определяем количество магистральных рукавных линий, – m .

$$m = \frac{Q_T}{Q_{ВД}^{Max}} = \frac{\sum N_{СТВ} \cdot q_{СТВ}}{Q_{ВД}^{Max}}, \quad (1)$$

где: Q_T – требуемое количество воды для тушения пожара, л/с; $Q_{ВД}^{Max}$ – максимальная величина водоотдачи рукавных линий, л/с (табл. 3);

$N_{СТВ}$ – количество стволов одного типа задействованных в тушении пожара; $q_{СТВ}$ – расход ствола, при соответствующем напоре (табл. 2), л/с.

Полученное значение m округляется до целого числа в большую сторону (величина не может быть больше 2-х – максимальное количество магистральных линий от ПА).

2. Определяем количество напорных пожарных рукавов в рукавной линии от головного пожарного автомобиля, установленного у места пожара до места установки разветвления – $n_p^{гол}$.

$$n_p^{\text{гол}} = \frac{H_H - (H_{P3} \pm Z_M \pm Z_{\text{СТВ}})}{S_p \cdot (Q_{\text{МЛ}})^2} \text{ (рук.)}, \quad (3)$$

где: H_H – напор на насосе ПА, принимается равным 90 м; H_{P3} – напор у разветвления, принимается равным на 10 м больше, чем напор на насадке пожарного ствола (табл. 2); Z_M – высота подъема (+) или спуска (–) местности на участке от головного пожарного автомобиля до разветвления, м; $Z_{\text{СТВ}}$ – наибольшая высота подъема (+) или спуска (–) пожарного ствола, или другого прибора подачи воды, на участке от разветвления до пожарного ствола, м; S_p – сопротивление пожарного рукава магистральной рукавной линии (табл. 1) $Q_{\text{МЛ}}$ – количество воды, проходящей по пожарному рукаву наиболее загруженной магистральной рукавной линии (суммарный расход стволов для выбранной схемы боевого развертывания, табл. 4), л/с.

Полученное значение числа рукавов округляется до целого числа в меньшую сторону.

3. Определяем количество напорных пожарных рукавов в рукавной линии между насосами ПА, работающими в перекачку (длину ступени перекачки) – $n_p^{\text{ступ}}$.

$$n_p^{\text{ступ}} = \frac{H_H - (H_{\text{ВХ}} \pm Z_M)}{S_p \cdot (Q_{\text{ВД}})^2} \text{ (рук.)}, \quad (4)$$

где: H_H – напор на насосе ПА, м вод. ст.; $H_{\text{ВХ}}$ – напор в конце перекачивающей рукавной линии на входе во всасывающую полость следующего насоса, в емкость МСП, в промежуточную емкость. (определяется по величине водоотдачи рукавной линии табл. 5); Z_M – высота подъема (+) или спуска (–) местности на участке от ПА, установленного на водоисточник, до головного ПА, м; S_p – сопротивление пожарного рукава магистральной рукавной линии (табл. 1); $Q_{\text{ВД}}$ – водоотдача рукавной линии в зависимости от схемы боевого развертывания (расхода воды на тушение пожара), л/с (табл. 4, 5).

Полученное значение числа рукавов округляется до целого числа в меньшую сторону.

На длину ступени перекачки большое влияние оказывает рельеф местности между пожарным автомобилем, установленным на водоисточник и головным ПА. Если подъем или спуск местности отмечается на отдельных ступенях перекачки, его учитывают исходя из конкретных условий на данном участке. Если подъем или спуск местности отмечается на всей длине перекачки его учитывают при определении длины всех ступеней перекачки, чем создается определенный запас подпора на насосах.

При значениях в формуле (4)

$$H_{\text{ВХ}} \pm Z_M \geq H_H \text{ – перекачка невозможна.}$$

4. Определяем число ступеней перекачки – $N_{\text{СТУП}}$.

$$N_{\text{СТУП}} = \frac{N_p - n_p^{\text{гол}}}{n_p^{\text{ступ}}} \text{ (ступ.)}. \quad (5)$$

Полученное значение числа ступеней перекачки округляется до целого числа в большую сторону.

4.1. Определяем общее количество рукавов в одной рукавной линии (от водоисточника до места установки разветвления от головного ПА, с учетом рельефа местности) – N_p .

$$N_p = \frac{1,2 \cdot L}{l_p} \text{ (рук.) или } N_p = 0,06 \cdot L \text{ (рук.)}, \quad (2)$$

где: L – расстояние от места пожара до водоисточника, м; l_p – длина стандартного пожарного рукава, принимается равной 20 м; 1,2 – коэффициент, учитывающий рельеф местности.

Полученное значение числа рукавов округляется до целого числа в меньшую сторону.

5. Определяем количество пожарных насосов (автомобилей) необходимых для подачи воды в перекачку с учетом головного ПА – $N_{\text{ПА}}$.

$$N_{\text{ПА}} = N_{\text{СТУП}} + 1. \quad (6)$$

6. Определяем фактическое расстояние в рукавах от головного ПА до места установки разветвления – $N_{\text{Ф}}^{\text{гол}}$:

$$N_{\text{Ф}}^{\text{гол}} = N_p - N_{\text{СТУП}} \cdot n_p^{\text{СТ}} \text{ (рук.)}; \quad (7)$$

Как правило, расстояние при установке головного ПА у места пожара, принимают равным 20 м или фактически оставшееся после определения расстояний между ступенями перекачки.

Если расчет проводился для каждой ступени перекачки в отдельности, то число рукавов суммируют по всем ступеням перекачки.

7. Определяем требуемое количество пожарных рукавов для прокладки рукавных линий и магистральных рукавных линий от головного ПА (без учета их резерва) – N_p^{TP} :

$$N_p^{TP} = m \cdot n_p^{CTYP} + k \cdot n_p^{ГОЛ} \quad (8)$$

где: k – количество магистральных рукавных линий от головного пожарного автомобиля.

Все расчеты по перекачке воды на тушение пожара, ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций необходимо проводить заранее с отражением результатов

расчета в оперативных планах и карточках пожаротушения, в планах по ликвидации ЧС.

Расчет параметров перекачки по предлагаемой методике в сравнении с существующей

Для сравнения возьмем пример 1 (стр. 150 [1]).

Пример 1. Для тушения пожара необходимо подать три ствола Б с диаметром насадка 13 мм, максимальная высота подъема стволов 10 м. Ближайшим водоисточником является пруд, расположенный на расстоянии 1500 м от места пожара, подъем местности равномерный и составляет 12 м. На пожар прибыли АЦ-40(130) 63А, два АН-40 (130) 64А и рукавный автомобиль АР-2, укомплектованный прорезиненными рукавами диаметром 77 мм.

Определить, достаточно ли пожарных машин для перекачки воды на тушение пожара.

Решение

Расчет по предлагаемой методике	Расчет по существующей методике приведенный в «Справочнике РТП» [1]
<p>1. Для выбранного способа перекачки определяем количество магистральных рукавных линий, – m.</p> $m = \frac{Q_T}{Q_{ВД}^{Max}} = \frac{\sum N_{CTB} \cdot q_{CTB}}{Q_{ВД}^{Max}} = \frac{3 \cdot 3,7}{14} = 0,8 \Rightarrow 1,$ <p>где: $N_{CTB} = 3$ РСК-50; $q_{CTB}^{РСК-50} = 3,7$ л/с, $H_{CTB} = 40$ м – табл. 2; $Q_{ВД}^{Max} = 14,0$ л/с (табл. 3) – максимальная величина водоотдачи рукавных линий: диаметром 77 мм л/с.</p>	<p>1. Принимаем способ перекачки «из насоса в насос» по одной магистральной линии.</p>
<p>2. Определяем количество напорных пожарных рукавов в рукавной линии от головного ПА, установленного у места пожара, до места установки разветвления.</p> $n_p^{ГОЛ} = \frac{H_H - (H_{P3} + Z_M + Z_{CTB})}{S_p (Q_{ML})^2}$ $n_p^{ГОЛ} = \frac{90 - (50 + 0 + 10)}{0,015 \cdot 11,1^2} = 16,2 \Rightarrow 16 \text{ рукавов.}$ <p>где: $H_H = 90$ м – напор на насосе ПА; $H_{P3} = 50$ м – напор у разветвления (принимается равным на 10 м больше, чем напор на насадке пожарного ствола: $q_{CTB}^{РСК-50} = 3,7$ л/с, $H_{CTB} = 40$ м – табл. 2; $Z_{CTB} = 10$ м – высота подъема пожарного</p>	<p>2. Определяем предельное расстояние до головного пожарного автомобиля в рукавах</p> $N_{ГОЛ} = \frac{H_H - (H_3 \pm Z_M \pm Z_{CTB})}{S_p \cdot Q^2}$ $N_{ГОЛ} = \frac{90 - (50 + 0 + 10)}{0,015 \cdot 11,1^2} = 16,6 \Rightarrow 16 \text{ рукавов.}$ <p>Число рукавов округляем до целого числа в меньшую сторону т.е. 16.</p>

Расчет по предлагаемой методике	Расчет по существующей методике приведенный в «Справочнике РТП» [1]
<p>ствола; $S_p = 0,015$ – сопротивление пожарного рукава диаметром 77 мм (табл. 1); $Q_{мл} = Q_T = 111$ л/с .</p>	
<p>3. Определяем количество напорных пожарных рукавов в рукавной линии между насосами ПА, работающими в перекачку (длину ступени перекачки) – $n_p^{ступ}$.</p> $n_p^{ступ} = \frac{H_H - (H_{вх} + Z_M)}{S_p \cdot (Q_{вд})^2} = \frac{90 - (29 + 12)}{0,015 \cdot 111^2} = 26,5 \Rightarrow$ <p style="text-align: center;"><u>26 рук.</u></p> <p>где: $H_H = 90$ м вод. ст. – напор на насосе ПА; $H_{вх} = 29$ м – напор на входе во всасывающую полость следующего насоса (табл. 3, 5); $Z_M = 12$ м – высота подъема местности на участке от ПА, установленного на водоисточник, до головного ПА; $Q_{вд} = 111$ л/с – водоотдача магистральной рукавной линии.</p>	<p>3. Определяем предельное расстояние между машинами, работающими в перекачку, в рукавах</p> $N_{MP} = \frac{H_H - (H_{вх} + Z_M)}{SQ^2} = \frac{90 - (10 + 12)}{0,015 \cdot 111^2} = [37,8] \text{ рук.}$ <p>Принимаем <u>37 рукавов.</u></p>
<p>4. Определяем число ступеней перекачки – $N_{ступ}$.</p> $N_{ступ} = \frac{N_p - n_p^{гл}}{n_p^{ст}} = \frac{90 - 16}{26} = 2,8 \Rightarrow \underline{3 \text{ ступени.}}$ <p>4.1. Определяем общее количество рукавов в одной рукавной линии (от водоисточника до места установки разветвления от головного пожарного автомобиля, с учетом рельефа местности) – N_p .</p> $N_p = \frac{1,2 \cdot L}{l_p} = \frac{1,2 \cdot 1500}{20} = 90 \text{ рукавов,}$ <p>где: $L = 1500$ м – расстояние от места пожара до водоисточника; $l_p = 20$ м – длина стандартного пожарного рукава.</p>	<p>4. Определяем расстояние от водоисточника до пожара с учетом рельефа местности</p> $N_p = \frac{1,2 \cdot L}{20} = \frac{1,2 \cdot 1500}{20} = 90 \text{ рукавов.}$ <p>5. Определяем число ступеней перекачки</p> $N_{ст} = \frac{N_p - N_{гол}}{N_{MP}} = \frac{90 - 16}{37} = \underline{2 \text{ ступени.}}$
<p>5. Определяем количество пожарных насосов (автомобилей) необходимых для подачи воды в перекачку, с учетом головного пожарного автомобиля – $N_{ПА}$</p> $N_{ПА} = N_{ступ} + 1 = 3 + 1 = \underline{4 \text{ автомобиля.}}$	<p>6. Определяем количество пожарных машин для подачи воды в перекачку</p> $N_M = N_{ступ} + 1 = 2 + 1 = \underline{3 \text{ машины.}}$
<p>6. Определяем фактическое расстояние в рукавах от головного ПА до места установки разветвления – $N_{ф}^{гл}$:</p> $N_{ф}^{гл} = N_p - N_{ступ} \cdot n_p^{ст} = 90 - 3 \cdot 26 = \underline{12 \text{ рукавов.}}$	<p>7. Определяем фактическое расстояние до головного пожарного автомобиля с учетом установки его ближе к месту пожара</p> $N_{ф.ф} = N_{MP,л} - N_{ступ} \cdot N_{мл} = 90 - 2 \cdot 37 = \underline{16 \text{ рукавов.}}$
<p><u>Для перекачки воды на тушение пожара необходимо 4 пожарных автомобиля.</u></p>	<p><u>Для перекачки воды на тушение пожара необходимо 3 пожарных автомобиля.</u></p>

*Текст примера и формулы по существующей методике, приведены в оригинальном изложении [1].

В задаче, при расчете параметров перекачки по существующей методике расчета, в формуле при определении длины ступени перекачки (п. 3), нарушено основное условие перекачки: «Количество перекачиваемой воды к месту пожара на входе в насос следующего пожарного насоса должно быть больше или равно количеству воды необходимого на тушение пожара».

$$Q_{\text{ПЕР}} = 6,52 < Q_{\text{T}} = 11,1,$$

где: $Q_{\text{ПЕР}} = 6,52$ л/с – табл. 3; $Q_{\text{T}} = 11,1$ л/с – по условию задачи.

Допущенная ошибка отразилась на определении других параметров перекачки.

Вывод: «Перекачка по данным расчете параметров перекачки, проведенных по существующей методике расчета – не возможна».

В заключение следует отметить:

1. Предлагаемые напоры в конце рукавной линии (4 м вод. ст.) при перекачке «из насоса в цистерну», (2 м. вод. ст.) при перекачке из «насоса через промежуточную емкость» пригодны для заполнения цистерны, емкости, но не для подачи воды на тушение пожара.

Список литературы

1. Иванников В. В., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.
2. Основы тушения пожаров. Часть 1. Учебное пособие / С. В. Тарасов, Д. Ю. Пигусов, С. А. Шкунов [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. 258 с.
3. Кузовлев А. В., Николаев А. Н. Расчет сил и средств для перекачки огнетушащих веществ к месту пожара на местности с подъемом // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1-1(7). С. 125–129.
4. Тарасов С. В., Пигусов Д. Ю., Пустовалова Н. С. Организация подачи (транспортировки) огнетушащих веществ на тушение пожаров способом перекачки // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2024. № 2. С. 62–72.
5. Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожкнига, 2004. 248 с.

Список литературы

1. Ivannikov V. V., Klyus P. P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of the

2. При перекачке «из насоса в насос» напор в конце рукавной линии на входе в насос перекачивающего автомобиля должен быть не менее 10 м вод. ст. (данные учебников, справочников, учебных пособий). Данная величина является нижней допустимой границей входного напора во всасывающую полость перекачивающего насоса, на основании которой базируется аналитический метод расчета, табличный метод расчета, расчет с помощью номограмм. В статье обоснована верхняя граница входного напора, а также определены величины входного напора в зависимости от необходимого количества перекачиваемой воды на тушение пожара.

3. Табличным методом расчета перекачки, номограммами пользоваться не рекомендуется, т.к. практически все расчетные таблицы построены на основе величины входного напора 10 м вод. ст. Достаточно посмотреть на табл. 16.5 стр.132 поз. 6 [5], примечание к ней. Оказывается, по одной рукавной линии диаметром 77 мм, при напоре на входе в последующий насос равный 10 м вод. ст. можно осуществить перекачку для 6 стволов РС-50 с суммарным расходом 21,0 л/с – нонсенс.

fire extinguishing manager]. Moscow: Strojizdat, 1987. 288 p.

2. *Osnovy tusheniya pozharov. Chast' 1. Uchebnoe posobie* [Basics of fire extinguishing. Part 1. Textbook] / S. V. Tarasov, D. Yu. Pigusov, S. A. Shkunov [et al.]. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2023. 258 p.

3. Kuzovlev A. V., Nikolaev A. N. *Raschet sil i sredstv dlya perekachki oagnetushashchih veshchestv k mestu pozhara na mestnosti s pod'emom* [Calculation of forces and means for pumping fire extinguishing agents to the fire site on the terrain with elevation]. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony m likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij*, 2016, vol. 1-1(7), pp. 125–129.

4. Tarasov S. V., Pigusov D. Yu., Pustovalova N. S. *Organizaciya podachi (transportirovki) oagnetushashchih veshchestv na tushenie pozharov sposobom perekachki* [Organization of the supply (transportation) of fire extinguishing agents for extinguishing fires by pumping]. *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*, 2024, issue 2, pp. 62–72.

5. Terebnev V. V. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskie vozmozhnosti pozharnyh podrazdelenij* [Directory of the fire extinguishing manager. Tactical capabilities of fire departments]. Moscow: Pozhkniga, 2004. 248 p.

Самохвалов Юрий Петрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент,
E-mail: suptr49@mail.ru

Samokhvalov Yuri Petrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, assistant professor,
E-mail: suptr49@mail.ru

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

УДК 614.843.4

ОЦЕНКА ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО РАНЦА

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

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: sad8_3@mail.ru, bubag@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru

В статье проведён анализ технических возможностей современных ранцевых огнетушителей (лесопожарных ранцев) для тушения пожаров. Установлено, что имеющиеся ранцевые огнетушители, способны формировать только сплошную и распыленную струю при тушении пожара. Показано, что возможна модернизация насадка гидропульта лесопожарного ранца плоскоструйной форсункой низкого давления.

Экспериментально доказано, что предложенное техническое решение позволит повысить эффективность тушения пожаров ранцевыми огнетушителями за счет создания мелкодисперсной тонкораспыленной струи.

Ключевые слова: ранцевый огнетушитель, ландшафтный пожар, интенсивность тушения, форсунка, тушение пожара, эффективность.

ASSESSMENT OF THE TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE UPGRADED FIRE-FIGHTING BACKPACK

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

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: sad8_3@mail.ru, bubag@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru

The article analyzes the technical capabilities of modern satchel fire extinguishers (forest fire packs) for extinguishing fires. It has been established that the existing satchel fire extinguishers are capable of forming only a continuous and sprayed jet when extinguishing a fire. It is shown that it is possible to upgrade the nozzle of the hydropult of the forest fire pack with a low-pressure flat-jet nozzle.

It has been experimentally proved that the proposed technical solution will increase the efficiency of extinguishing fires with satchel fire extinguishers by creating a finely dispersed thinly sprayed jet.

Key words: satchel fire extinguisher, landscape fire, extinguishing intensity, nozzle, fire extinguishing, efficiency.

Введение

По данным, представленным Федеральным агентством лесного хозяйства ФБУ «Авиалесоохрана»¹, общая площадь ландшафтных пожаров, зафиксированная на территории Российской Федерации в 2024 году, равна 16 млн. га, что составляет около 1 % от территории суши страны. По оценке экспер-

тов Российской академии наук² ежегодный ущерб от ландшафтных пожаров составляет 100 млрд. руб., что требует от министерств и ведомств совершенствования мероприятий, технических средств и технологий обнаружения, а также ликвидации ландшафтных пожаров.

© Семенов А. Д., Бубнов А. Г., Сараев И. В., 2024

¹ Сведения о лесопожарной обстановке на территории субъектов РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://rosleshoz.gov.ru/rates/forest_fires/area (дата обращения: 10.11.2024).

² Чаща сия. Лесные пожары обходятся России в 100 миллиардов рублей в год [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://aif.ru/society/nature/chashcha-siya-lesnye-pozhary-obhodyatsya-rossii-v-100-milliardov-rublei-v-god> (дата обращения: 10.11.2024).

В соответствии с классическим представлением об эффективности тушения пожара [1–3], уменьшение площади тушения и снижение материального ущерба складывается из подготовленности, времени прибытия и технической оснащённости подразделений пожарной охраны, привлекаемых к тушению. Однако тушение таких пожаров осложняется большой площадью и наличием множественных очагов возгорания, отсутствием водоисточников, а также труднопроходимыми районами местности, где применение современных наземных технических средств тушения осложняется их доставкой.

Рассмотрим техническое оснащение лесопожарных и пожарных подразделений, которые принимают участие в тушении ландшафтных пожаров.

Анализ нормативных правовых актов^{3,4}, регламентирующих технологический порядок и оснащённость лесопожарных подразделений показал, что в труднодоступных районах местности для борьбы с ландшафтными пожарами применяется ручной и механизированный инструмент, для создания заградительных и минерализованных полос. Тушение очагов возгорания при этом осуществляется водой или водными растворами смачивателя с применением ранцевых лесных опрыскивателей (ранцев лесопожарных), заправка которых производится из открытых водоисточников (при

наличии), либо из специальных резервуаров с водой ёмкостью 100 или 300 л. При этом все действия личного состава осуществляются за счёт мускульной силы оператора. Таким образом, эффективность тушения очагов ландшафтных пожаров водой и водными растворами смачивателя определяется техническими возможностями ранца лесопожарного. Вместе с тем, в открытом доступе отсутствуют данные по интенсивности орошения, защищаемой площади и времени работы в зависимости от типа применяемого насадка в гидропультах лесопожарных ранцев.

Цель работы – оценка числовых значений показателей, характеризующих технические возможности лесопожарного ранца при оснащении его ручного гидропульта насадком в виде форсунки.

В настоящее время выпускается несколько видов лесопожарных ранцев марок «Профи», «Ермак» и «Лесник» и др., представленных на рис. 1.

Рассмотрим виды и технические характеристики лесопожарных ранцев, которые выпускаются промышленностью. Как видно из рис. 1, конструктив и особенности эксплуатации представленных ранцев являются схожими. На рис. 2 представлен типичный общий вид, а также основные конструктивные элементы лесопожарного ранца.



Рис. 1. Виды лесопожарных ранцев: а) «Профи»; б) «Ермак»; в) «Лесник»

³ Проект Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении нормативов обеспеченности субъекта Российской Федерации лесопожарными формированиями, пожарной техникой и оборудованием, противопожарным снаряжением и инвентарем, иными средствами предупреждения тушения лесных пожаров» (подготовлен Минприроды России 13.12.2016).

⁴ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 1 апреля 2022 г. № 244 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров».

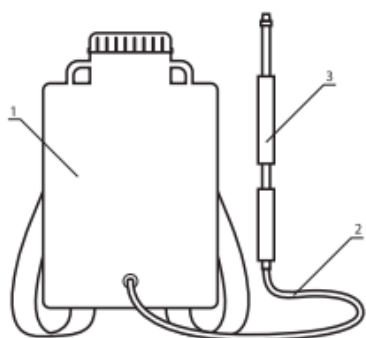


Рис. 2. Общий вид лесопожарного ранца:
1 – ёмкость для транспортировки
огнетушащего вещества, 2 – шланг,
3 – ручной насос (гидропульт)

Анализ конструкций, представленных на рис. 2 лесопожарных ранцев показывает, что они состоят из ёмкости для транспортировки огнетушащего вещества (1) и устройства подачи (3), соединенных между собой посредством шланга (2). Устройство подачи (гидропульт) представляет собой пистолет, в корпусе которого размещён двусторонний поршневой насос, работающий в двух обратных направлениях. Гидропульт приводится в работу за счёт мускульной силы пожарного, а для формирования различных видов струй (компактная, распыленная, воздушно-пенная) применяются насадки.

Технические характеристики лесопожарных ранцев представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики лесопожарных ранцев ^{5,6} [4]

№ п/п	Наименование лесопожарного ранца	Производительность, л/мин	Объем ёмкости, л	Дальность подачи струи, м	
				Компактная	Распыленная
1.	«Профи»	3	18	10,5	6
2.	«Ермак»	2,5	18	8,5	3,5
3.	«Лесник»	Не менее 2,25	20	9	5

Метод исследования

Анализ справочных данных представленных в табл. 1 показывает, что на среднее время работы лесопожарного ранца влияет расход огнетушащего вещества гидропультом, который составляет 2,5 л/мин. Такой расход огнетушащего вещества позволяет осуществлять тушение в течении 5–6 мин. Подача огнетушащих веществ на тушение осуществляется ручным насосом с применением различных типов насадков, которые и формируют тип струи (компактная, распыленная, пенная), влияющих на дальность и площадь тушения, а также на величину среднего расхода и интенсивность орошения. Для оценки технических показателей (расход, интенсивность подачи (орошения)) гидропульта лесопожарного ранца, рассмотрим особенности формирования фигуры площади орошаемого пространства при использовании различных типов насадков, применяемых для получения огнетушащих струй.

В настоящее время в конструкции гидропультов лесопожарных ранцев предусмотрена форсунка-распылитель (рис. 3а), которая крепится к полости поршневого насоса (гидропульта) посредством резьбового соединения. Форсунка имеет коническую форму и снабжена поворотным насадком, который имеет целевое отверстие. При прохождении компактной струи через целевой насадок, от соударения её о стенки, происходит изменение формы потока жидкости и образуется распыленная струя (рис. 3б).

Насадок, устанавливаемый на гидропульт, крепится за счёт резьбового соединения, которое позволяет проводить быстрое восстановление технической готовности лесопожарного ранца и рассмотреть возможность его модернизации. Для повышения эффективности тушения рассмотрим возможность замены стандартного насадка на форсунку для формирования струи тонкораспыленной воды (ТРВ).

В работах [5–8] показано, что применение форсунок для создания ТРВ повышает эффективность тушения пожара. Это связано с физико-химическими свойствами тонкораспылённой воды, которые зависят от размера капель, интенсивности орошения и добавления смачивателя. Эффект тушения ТРВ определяется повышенной интенсивностью охлаждения, снижением концентрации кислорода в воздухе за счёт насыщения зоны горения парами воды и снижением интенсивности теплового излучения. Данное обстоятельство позволяет повысить эффективность использования воды в качестве огнетушащего вещества при сокращении её расхода. Таким образом, применение форсунок для формирования струй ТРВ на гидропульте лесопожарного ранца позволит повысить эффективность его применения для тушения пожара.

⁵ Ранцевый лесной опрыскиватель РЛО (лесник). Руководство по эксплуатации. 4 с.

⁶ РП-18 Ермак. Руководство по эксплуатации. Пушкино: ООО «Лесхозснаб», 2023. 15 с.



Рис. 3. Насадок распылитель гидропульты лесопожарного ранца:
а) общий вид; б) формирование распыленной струи

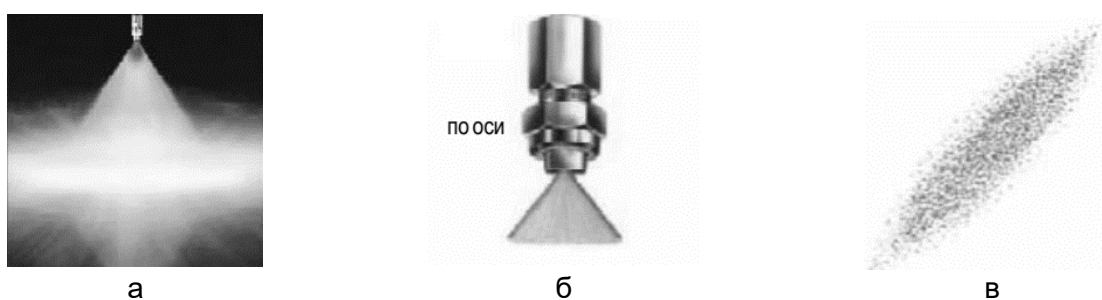


Рис. 4. Форсунка с плоскоструйной характеристикой распыла⁷:
а) общий вид струи распыла; б) общий вид форсунки; в) вид контакта распыла с поверхностью

По полученным данным, наиболее перспективными распылительными форсунками являются те, которые обладают плоскоструйной характеристикой распыла и формируют веерообразную или дисковидную струю (рис. 4).

Отметим, что основными характеристиками, которые влияют на выбор форсунок является именно расход огнетушащего вещества при создаваемом напоре (форсунки выпускаются в зависимости от требуемого давления, широко применяются форсунки низкого давления от 0,3 до 3 атм.

Следовательно, от напора развиваемого поршневым насосом гидропульты и типа используемого насадка, зависят технические характеристики, определяющие эффективность применения средств тушения пожара на определённой площади защищаемого пространства. К таким характеристикам относится расход и интенсивность тушения пожара.

Выбор форсунки для ручного насоса лесопожарного ранца проводили по рабочему давлению, создаваемому оператором при работе гидропультом. Теоретические представления по определению мощностных показате-

лей гидропульты в заданных условиях эксплуатации показали, что развиваемая им мощность напрямую зависит от работы, которая затрачивается на перемещение определённого объёма жидкости в единицу времени.

Авторами работ [9–10] показано, что мощность, развиваемая человеком при выполнении работы (физическая величина) различной интенсивности, находится в пределах 70–200 Вт. Например, в работе [14] показано, что при спокойной ходьбе (5 км/ч) развиваемая человеком мощность находится в пределах 70–90 Вт, причем вырабатываемая мощность увеличивается практически в 2 раза, до 200 Вт, при увеличении скорости ходьбы до 7 км/ч. Таким образом, для определения давления, создаваемого гидропультом примем мощность, которую оператор способен развить при выполнении работы средней интенсивности равной 120 Вт. Значение величины создаваемого давления поршневым насосом двустороннего действия можно найти исходя из выражения 1 по формуле 2 [11–12].

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot Q}{1000 \cdot \eta} = \frac{p \cdot Q}{1000 \cdot \eta}, \quad (1)$$

⁷ Справочник. Форсуночная техника. Spraying Systems CO, 2024. 16 с.

где Q — подача насоса, м³/с; h — напор, м; ρ — плотность, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; η — общий к.п.д. насоса [10]; p — давление насоса Па.

$$p = \frac{N \cdot \eta \cdot 1000}{Q} = \frac{0,12 \cdot 0,9 \cdot 1000}{0,000042} = 2571428 \text{ Па} = 2,6 \text{ атм.}, \quad (2)$$

где N — мощность, потребляемая насосом, кВт; η — общий к.п.д. насоса; p — давление, создаваемое насосом Па, Q — подача насоса, м³/с.

Таким образом, было определено давление (2,6 атм.), создаваемое поршневым гидрорупельтом при развиваемой мощности от мускульной работы оператора 120 Вт. Выбор форсунки был осуществлён для производительности 2,5 л/мин и напоре на стволе 2,6 атм. Представленные форсунки могут иметь различный угол распыла, от которого зависит площадь орошения.

Основным эмпирическим методом⁸ оценки показателей эффективности ручных стволов является определение параметров сплошной и распылённой струи (интенсивность орошения и расход огнетушащего вещества). Базовой характеристикой эффективности тушения пожара является объём поданного огнетушащего вещества в единицу времени на определённую площадь, т.е. интенсивность орошения⁹. В пожарной тактике [2] принято употреблять термин – «интенсивность подачи

огнетушащего вещества». Ввиду того, что средний расход огнетушащего вещества через насадки для формирования сплошной и распыленной струи гидрорупельта лесопожарного ранца составляет 2,5 л/мин, то первоначально необходимо было определить интенсивность орошения (интенсивность подачи огнетушащего вещества).

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные исследования по определению проекции площади орошения с применением различных типов насадок к гидрорупельту проводились на учебно-материальной базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России и представлены на рис. 5 и 6. Отметим, что струи, формируемые при тушении пожара, характеризуются такими геометрическими параметрами, как ширина (a) и длина ($b+c$) распыла. Однако в месте соприкосновения с поверхностью пятно контакта приобретает эллиптическую форму, которая имеет продольное или поперечное расположение и характеризует площадь орошения прибора подачи огнетушащих веществ.

Можно констатировать, что форма проекций струй при применении стандартного насадка и плоскоструйной форсунки имеет эллипсообразную форму, которая отличается ориентацией в пространстве и геометрическими размерами.

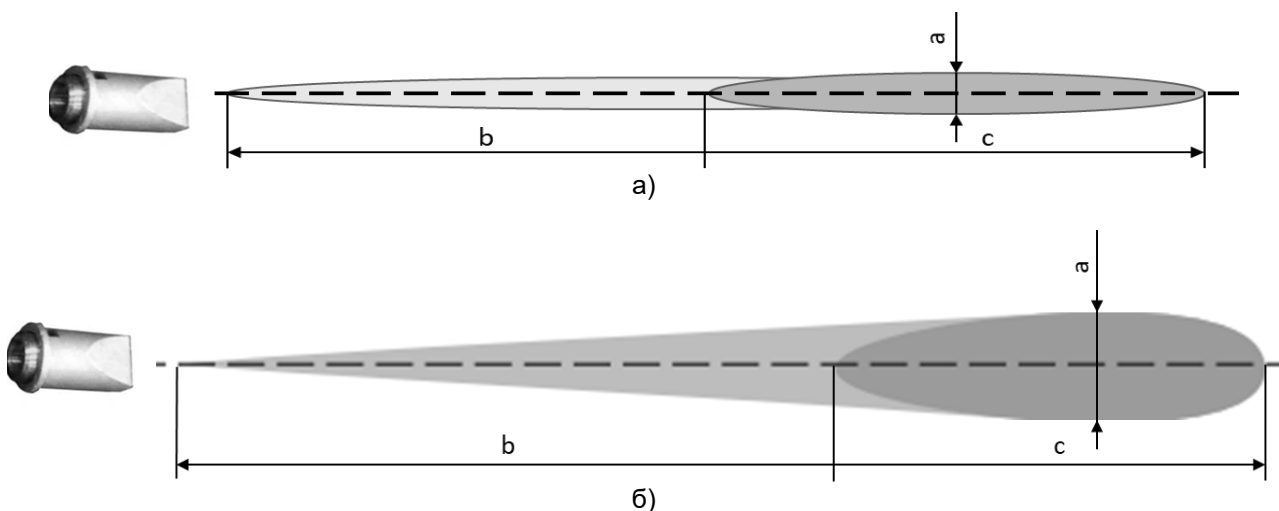


Рис. 5. Проекция площади орошения гидрорупельта стандартным насадком: а) компактная струя; б) распыленная струя

⁸ ГОСТ 9923-2021 Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. 2022. 16 с.

⁹ Там же

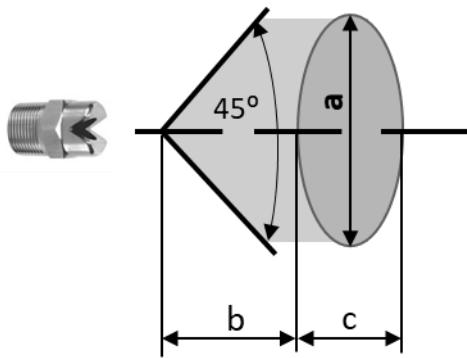


Рис. 6. Проекция площади орошения гидропульта с плоскоструйной форсункой

Геометрические параметры площади орошения определялись типом формируемой струи (табл. 2) и получены на основании расчёта площади фигуры орошения по зависимости 3 [13], которая формирует форму эллипса.

$$p = \pi \cdot \frac{(c + a)}{2} \quad (3)$$

где π — число Пи (3,14); c — длина эллипса, м; a — ширина эллипса, м.

Полученные значения геометрических параметров площади орошения из гидропульта лесопожарного ранца позволяют определить площадь, покрываемую осадками огнетушащего вещества. На основании полученных данных были определены параметры экспериментальной мишени для определения интенсивности орошения (подачи) огнетушащего вещества.

В соответствии с методическими подходами [14–17] по определению интенсивности подачи огнетушащего вещества, испытания проводят на определенной площади с фиксацией количества выпавших осадков за определенный интервал времени. Объемные значения количества огнетушащего вещества, выпавшего на определенной площади (табл. 2), фиксировались путём сбора в типовую ёмкость, представленную на рис. 7.

Для проведения эксперимента была подготовлена конструкция (рис. 8), представляющая правильный равносторонний шестиугольник, на котором были размещены цилиндрические ёмкости для сбора осадков пролитых огнетушащих веществ.

Таблица 2. Экспериментальные значения геометрических параметров площади орошения от типа формируемой струи

Тип струи	Геометрические параметры пятна контакта струи с поверхностью, м				Площадь орошения, м ²
	глубина тушения, b	длина эллипса, c	дальность подачи, b+c	ширина эллипса, a	
Сплошная	7,4	0,15	7,55	0,01	0,2512
Распыленная	2,7	0,8	3,5	0,26	1,6642
Тонкораспыленная	1	0,72	1,72	0,83	2,4335

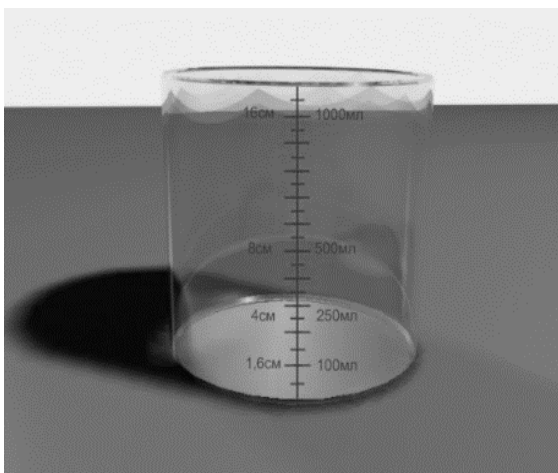


Рис. 7. Ёмкость для сбора осадков при проведении эксперимента

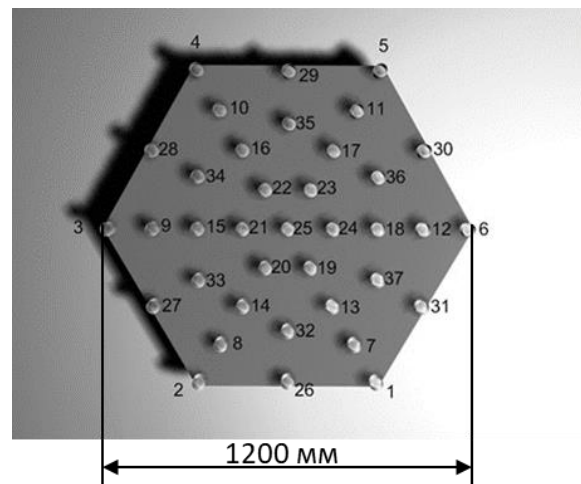


Рис. 8. Экспериментальная конструкция по определению интенсивности подачи огнетушащих веществ

Выбор шестиугольной геометрической фигуры конструкции по сбору осадков был обусловлен тем, что площадь орошаемого пространства различных типов струй имела эллиптическую форму, хорошо вписывающуюся в шестиугольник. Тем самым достигалось максимальное использование полезной площади рабочей поверхности экспериментальной конструкции с ёмкостями.

Определение количества огнетушащих веществ, подаваемых через насадки, проводили путём замера объёма жидкости в мерной ёмкости в течении 6 мин. Переполнение ни одной из мерных емкостей не допускалось.

Измерив объём воды в каждой мерной ёмкости, определяли локальную интенсив-

ность орошения i , $л \cdot с^{-1} \cdot м^2$, на площади основания мерных емкостей по формуле:

$$I_{op} = \frac{V_{op}}{S_6 \cdot \tau}, \quad (4)$$

где I_{op} — интенсивность орошения 1 $м^2$ площади за 1 секунду, $л \cdot м^2 \cdot с^{-1}$, τ — время проведения опыта, с, V_{op} — усредненный объём осадков во всех мерных ёмкостях, л, S_6 — площадь основания мерной ёмкости, $м^2$.

Таким образом, показатель локальной интенсивности орошения показывает среднюю накопленную концентрацию огнетушащего вещества на определенной площади в интервале времени (табл. 3).

Таблица 3. Экспериментальные данные по интенсивности орошения в зависимости от типа формируемой струи

Тип струи	Площадь орошения, $м^2$	Расход насадка, л/мин	Время эксперимента, с	Интенсивность орошения, $л \cdot м^2 \cdot с^{-1}$
Сплошная	0,25	2,5	360	0,166
Распыленная	1,66	2,5	360	0,025
Тонкораспыленная	2,43	2,5	360	0,017

Анализ экспериментальных данных по интенсивности орошения, показал, что происходило снижение концентрации огнетушащего вещества с увеличением площади орошения. Такая тенденция обусловлена плотностью распределения осадков огнетушащего вещества, выпавшего на единицу защищаемой площади, и хорошо согласуется с известными теоретическими представлениями [5-7].

Таким образом, применение форсунки для формирования тонкораспыленной струи в качестве насадка на гидропульт лесопожарного ранца, позволяет увеличить площадь защищаемого пространства при тушении ландшафтных пожаров. Формирование ТРВ при подаче огнетушащего вещества через форсунку-распылитель приводит к уменьшению расхода огнетушащей жидкости на тушение. Это обусловлено высокой эффективностью теплообмена капель жидкости с огнём и возможностью ингибирования на молекулярном уровне поверхности горения [5–7].

Заключение

Проведенные исследования показали, что эффективность лесопожарных ранцев, применяемых для ликвидации ландшафтных пожаров, характеризуется запасом и интенсивностью подачи огнетушащего вещества. Расход и интенсивность огнетушащего вещества определяется типом используемого насадка на гидропульте.

В работе рассмотрена возможность модернизации насадка гидропульта лесопожарных ранцев путем использования плоскоструйной форсунки низкого давления с производительностью 2,5 л/мин.

Экспериментально подтверждено, что формируемая площадь орошения, различных типов струй, имеет форму эллипса, которая отличается геометрическими параметрами (длина и ширина). Определены параметры (площадь орошения, интенсивность, расход), характеризующие подачу огнетушащих веществ через исследуемые насадки.

Установлено, что применение форсунки для формирования струи тонкораспыленной воды позволяет увеличить площадь защищаемого пространства при тушении за счет формирования струй тонкораспыленной воды.

Список литературы

1. Терещнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пож- книга, 2004. 256 с.

2. Параметры работы газодымозащитников при выполнении спасательных работ / Б. Б. Гринченко, Д. Ю. Захаров, И. М. Чистяков [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 55–63.

3. Оценка минимальных требований по техническому оснащению лесопожарных групп / Н. А. Коршунов, В. А. Савченкова, К. Н. Провин [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9 (132). С. 63–69.

4. Фролов Н. С., Шуртаков В. В., Астахов Е. О. Справочник технических средств для тушения лесных пожаров. Пушкино: ФБУ «Авиалесоохрана», 2023. 86 с.

5. Огнетушащая эффективность установок пожаротушения тонкораспыленной водой с оросителями с соударяющимися струями / А. А. Сперанский, С. В. Мамагин, С. А. Бороздин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 2 (27). С. 34–39.

6. Обоснование эффективности тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой на начальной стадии пожара / А. Ю. Андрушкин, Е. О. Афанасьев, Е. Н. Кадочникова // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2020. № 1. С. 38–41.

7. О возможности тушения лесных и торфяных пожаров полидисперсными водяными потоками / А. О. Жданова, Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 2. С. 49–66.

8. Газизов А. М., Янгирова Р. Р. Современные методы борьбы с лесными пожарами // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2021. № 1. С. 25–39.

9. Попов В. П., Занковец В. Э. Мощност как физическое качество // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2016. Том 11, № 4 (55). С. 45–52.

10. Дубровский В. И., Федорова В. Н. Биомеханика. Учебник для средних и высших учебных заведений. М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. 672 с.

11. Савин И. Ф., Сафоноф П. В. Основы гидравлики и гидропривод. М.: Высшая школа. 1978. 222 с.

12. Гидравлические насосы и их применение: учебно-методическое пособие / Т. А. Власюк [и др.]; Гомель: БелГУТ, 2021. 191 с.

13. Беклемишев Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник. 13 е изд., испр. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 448 с.

14. Меженов В. А., Ольховский И. А. Разработка методики оценки площади орошения и интенсивности подачи огнетушащих веществ пожарными лафетными стволами. Системы безопасности: материалы международной научно-технической конференции. М.: Академия государственной противопожарной службы. 2019. № 28. С. 206–211.

15. Меженов В. А. Технология применения ствольной техники с универсальными насадками для тушения пожаров машинных залов электростанций: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 2.10.1. М., 2023. 24 с.

16. Харламов Р. И., Семенов А. Д., Сараев И. В. Дополнительное устройство для повышения функциональных возможностей ручных пожарных стволов РС-50 (РС-70) // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 136–141.

17. Оценка интенсивности орошения для пожарных лафетных стволов / В. А. Меженов, И. А. Ольховский, К. П. Щетнев, [и др.] // Научный журнал «Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация». 2023. № 1. С. 22–29.

References

1. Terebnev V. V. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskiye vozmozhnosti pozharnykh podrazdeleniy* [Handbook of the fire extinguishing manager. Tactical capabilities of fire departments]. Moscow: Pozhkniga, 2004, 256 p.

2. Parametry` raboty` gazo- dy`mozashhitnikov pri vy`polnenii spasatel'ny`x rabot / B. B. Grinchenko, D. Yu. Zaxarov, I. M. Chistyakov [et al.]. *Sovremennyye`e`problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2021, vol. 4 (41), pp. 55–63.

3. Otsenka minimal'nykh trebovaniy po tekhnicheskomu osnashcheniyu lesopozharnykh grupp [Assessment of minimum requirements for technical equipment of forest fire teams] / N. A. Korshunov, V. A. Savchenkova, K. N. Provin [et al.]. *Vestnik KrasGAU*, 2017, vol 9 (132), pp. 63–69.

4. Frolov N. S., Shurtakov V. V., Astakhov Ye. O. *Spravochnik tekhnicheskikh sredstv dlya tusheniya lesnykh pozharov* [Handbook of technical means for extinguishing forest fires]. Pushkino: FBU «Avialesookhrana», 2023, 86 p.

5. Ognetushashchaya effektivnost' ustanovok pozharotusheniya tonkoraspylennoy vody s orositelyami s soudaryayushchimisya struyami [Fire extinguishing efficiency of water

mist fire extinguishing systems with colliding jet sprinklers] / A. A. Speranskiy, S. V. Mamagin, S. A. Borozdin [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2018, vol. 2 (27), pp. 34–39.

6. Andryushkin A. Yu., Afanas'yev Ye. O., Kadochnikova Ye. N. Obosnovaniye effektivnosti tusheniya goryuchikh zhidkostey tonkoraspylennoy vodoy na nachal'noy stadii pozhara [Justification of the efficiency of extinguishing flammable liquids with finely misted water at the initial stage of a fire]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rosii»*, 2020, issue 1, pp. 38–41.

7. O vozmozhnosti tusheniya lesnykh i torfyanykh pozharov polidispersnymi vodyanymi potokami [On the possibility of extinguishing forest and peat fires with polydisperse water flows] / A. O. Zhdanova, G. V. Kuznetsov, P. A. Strizhak [et al.]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2015, vol. 24, issue 2, pp. 49–66.

8. Gazizov A. M., Yangirova R. R. Sovremennyye metody bor'by s lesnymi pozharami [Modern methods of fighting forest fires]. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoye delo»*, 2021, issue 1, pp. 25–39.

9. Popov V. P., Zankovecz V. E. Moshhnost' kak fizicheskoe kachestvo [Power as a physical quality]. *Pedagogiko-psixologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta*, 2016. issue 11. vol. 4 (55). pp. 45–52.

10. Dubrovskiy V. I., Fedorova V. N. *Biomekhanika. Uchebnik dlya srednikh i vysshikh uchebnykh zavedeniy* [Biomechanics. Textbook for secondary and higher educational institutions]. Moscow: Izd-vo VLADOS-PRESS, 2003, 672 p.

11. Savin I. F., Safonov P. V. *Osnovy gidravliki i gidroprivoda* [Fundamentals of hydraulics and hydraulic drive]. Moscow: Vysshaya shkola, 1978, 222 p.

12. *Gidravlicheskiye nasosy i ikh primeneniye: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Hy-

draulic pumps and their application: a teaching aid] / T. A. Vlasyuk [et al.]. Gomel': BelGUT, 2021, 191 p.

13. Beklemishev D. V. *Kurs analiticheskoy geometrii i lineynoy algebry: Uchebnik* [Course of analytical geometry and linear algebra: Textbook]. 13 ye izd., ispr. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2015, 448 p.

14. Mezhenov V. A., Ol'khovskiy I. A. Razrabotka metodiki otsenki ploshchadi orosheniya i intensivnosti podachi ognnetushashchikh veshchestv pozharnymi lafetnymi stvolami [Development of a methodology for assessing the irrigation area and the intensity of fire extinguishing agent supply by fire monitor nozzles]. *Sistemy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: Akademiya gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby, 2019, issue 28, pp. 206–211.

15. Mezhenov V. A. Tekhnologiya primeneniya stvol'noy tekhniki s universal'nymi nasadkami dlya tusheniya pozharov mashinnykh zalov elektrostantsiy. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Technology of using barrel equipment with universal nozzles for extinguishing fires in machine rooms of power plants. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2023, 24 p.

16. Kharlamov R. I., Semenov A. D., Sarayev I. V. Dopolnitel'noye ustroystvo dlya povysheniya funktsional'nykh vozmozhnostey ruchnykh pozharnykh stvolov RS-50 (RS-70) [Additional device for increasing the functionality of manual fire nozzles RS-50 (RS-70)]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, vol 3 (36), pp. 136–141.

17. Otsenka intensivnosti orosheniya dlya pozharnykh lafetnykh stvolov [Evaluation of irrigation intensity for fire monitor nozzles] / V. A. Mezhenov, I. A. Ol'khovskiy, K. P. Shchetnev [et al.]. *Nauchnyy zhurnal «Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya»*, 2023, issue 1, pp. 22–29.

Семенов Андрей Дмитриевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Кандидат технических наук

E-mail: sad8_3@mail.ru

Semenov Andrey Dmitrievich

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences

E-mail: sad8_3@mail.ru

Бубнов Андрей Германович

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

Доктор химических наук, доцент

E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovitch

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Chemical Sciences, associate professor

E-mail: bubag@mail.ru

Сараев Иван Витальевич

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

Кандидат технических наук

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Saraev Ivan Vitalevitch

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

УДК 614.841.34

ПРОЦЕССЫ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ В АВТОКЛАВЕ

С. В. ФЕДОСОВ¹, А. А. ЛАЗАРЕВ², Д. Е. ЦВЕТКОВ², А. Ю. КОМЛЁВ²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Российская Федерация, г. Москва

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

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru, kpond@edufire37.ru,
cvetkov-dmitrii@mail.ru, mchs04@mail.ru.

В представленной работе авторами статьи предложено техническое решение в целях повышения эффективности работы установки для пропитки древесины жидкостью, обеспечения надежного контроля влажности древесины и концентрации антипиренов, антисептиков в пропиточной жидкости. Также представлена физико-математическая модель нестационарного массопереноса неорганического антипирена в системе «древесина – жидкая среда автоклава». Получены аналитические решения нестационарного массопереноса в условиях ограниченного объема жидкости водного раствора бишофита. Рассчитаны распределение массосодержаний бишофита по толщине деревянного бруска (доски) и концентрация данной соли в водном растворе в автоклаве. Указанные обстоятельства позволяют прогнозировать процессы глубокой пропитки древесины неорганическими антипиренами в рассматриваемых условиях. Для трех случаев пропитки (только со стороны тангенциального среза, только со стороны радиального среза, со всех сторон) проведены численные эксперименты. Результаты расчета показывают изменение массосодержаний при глубокой пропитке древесины бишофитом в безразмерных переменных, при отличающихся параметрах процесса, отражаемых в массообменных критериях подобия (Фурье, Био).

Ключевые слова: древесина, техническое решение, автоклав, нестационарный массоперенос, антипирен.

MASS TRANSFER PROCESSES DURING FLAME RETARDANT TREATMENT OF WOOD IN AN AUTOCLAVE

S. V. FEDOSOV¹, A. A. LAZAREV², D. E. TSVETKOV², A. Y. KOMLEV²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Russian Federation, Moscow

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

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru, kpond@edufire37.ru,
cvetkov-dmitrii@mail.ru, mchs04@mail.ru.

In the presented work, the authors of the article proposed a technical solution in order to increase the efficiency of the installation for impregnating wood with liquid, to ensure reliable control of wood moisture and the concentration of flame retardants, antiseptics in the impregnating liquid. A physical and mathematical model of nonstationary mass transfer of inorganic flame retardants in the «wood-liquid autoclave» system is also presented. Analytical solutions for unsteady mass transfer in conditions of a limited volume of liquid in an aqueous solution of bischofite are obtained. The distribution of bischofite mass contents over the thickness of a wooden bar (board) and the concentration of this salt in an aqueous solution in an autoclave are calculated. The distribution of bischofite mass contents over the thickness of a wooden bar (board) and the concentration of this salt in an aqueous solution in an autoclave are calculated. These circumstances make it possible to predict the processes of deep impregnation of wood with inorganic flame retardants under the conditions under consideration. Numerical experiments were carried out for three cases (impregnation only from the tangential section, impregnation only from the radial section, impregnation from all sides). The cal-

culation results show a change in mass contents during deep impregnation of wood with bischofite in dimensionless variables, with different process parameters reflected in the mass transfer similarity criteria (Fourier, Bio).

Key words: wood, technical solution, autoclave, non-stationary mass transfer, flame retardant.

Введение

Известно, что в деревообрабатывающей промышленности в целях изменения эксплуатационных и физико-механических свойств древесины и строительных материалов на её основе применяется гидротермическая обработка [1-4]. Данный процесс базируется на обмене влаги и тепла между древесиной и окружающей средой (тепломассоперенос). В данной публикации рассматриваются существующие технологические схемы автоклавной пропитки древесины (антипиренами, антисептиками), так как применяемое оборудование достаточно специфично и, от того каким образом проведена пропитка, в конечном итоге зависит качество полученного продукта. Известны различные модификации автоклавов, направленные на улучшение их функционала, в частности изобретение Михайловского Г. А. [2]. Здесь автор предлагает к реализации улучшение обогрева наиболее утолщенной части автоклава перпендикулярно к наибольшей оси, по линии малой оси сечения путем ввода труб подачи обогревателя с регулирующими вентилями. Колотов А. Н., Долгов Е. А., Макаров Е. П. [и др.] предложили техническое решение [3], позволяющее обеспечить загрузку реагента в зоне интенсивного перемешивания рабочей среды, что повышает интенсивность его растворения. Колокольцев В. И., Бронфенбрер А. В., Пушков В. П., Иванов В. П. [4] разработали устройство для программного поддержания температуры в автоклаве. Буре Д. А., Виткаускас К. П., Клупшас К. В. [5] улучшали эффективность работы автоклава путем уменьшения потерь пара. Бойко А. Г., Воронов И. Д., Гулый Н. А. [и др.] рассматривали улучшение автоклава для гидротермической обработки материалов путем установки устройства дроссельного типа с отверстиями для непрерывного отвода конденсата [6]. Устинкин Г. Г., Михайловский Е. И. [7] предложили улучшение автоклава для термовлажностной обработки различных материалов при обустройстве герметичного корпуса с крышками и трубчатыми ребрами жесткости. Жирнов В. А. [8] предложил устройство высокотемпературной обработки древесины. Сафин Р. Р., Хасаншин Р. Р., Разумов Е. Ю. [и др.] нашли способ получать пиломатериалы после их термической обработки, не имеющие запаха жженой древесины [9]. Бирман А. Р.,

Бондалетов В. Г., Гареев Ф. Х. [и др.] разработали полезную модель универсального автоклава для сушки и пропитки древесины [10], содержащую корпус, излучатели микроволновой энергии, установленные по всей длине боковых стенок корпуса, и устройство для подачи пропитывающей жидкости. Деревянных Д. Н., Ермолин В. Н. [11] увеличивали глубину проникновения и интенсификации процесса пропитки древесины путем чередования статического и переменного давления при автоклавной пропитке.

Цель исследования

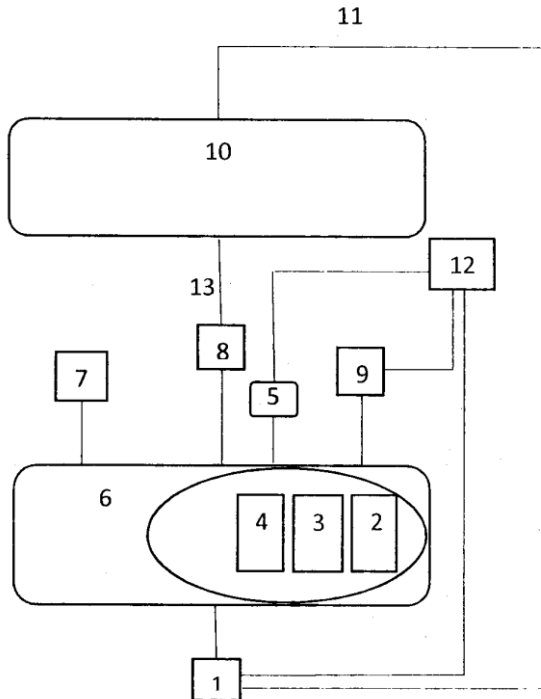
Проведенный анализ научной литературы и патентной документации показал наличие большого количества решений, направленных на улучшение технических характеристик автоклавов. При этом все из вышеперечисленных способов автоклавной пропитки обеспечивают удовлетворительную пропитку лишь подсушенной древесины, с влажностью не выше предела насыщения клеточных стенок (исключением является автоклавно-диффузионная пропитка) [1]. В соответствии с вышеизложенным целью настоящего исследования является разработка технического решения повышающего эффективность работы установки для пропитки древесины жидкостью, а также усовершенствование физических представлений о процессах диффузии водных растворов антипиренов в массив древесины.

Материалы

и методы исследования

Известно устройство для сушки и пропитки древесины, содержащее пропиточную и маневровую ёмкости (автоклавы), систему циркуляции пропиточной жидкости, запорную регулируемую аппаратуру [12]. Такое устройство конструктивно сложно, затруднен контроль влажности пропитываемой древесины. Также известна установка для пропитки древесины жидкостью, содержащая пропиточную и, расположенную выше нее, маневровую ёмкости, соединенные магистралями, насосы, запорную регулируемую аппаратуру, гидростатический термогидравлический генератор давления [13]. Недостатком такой установки является низкая эффективность процесса пропитки древесины за счет сложности контроля ее влажности (известно, что при нарастании влажности древе-

сины в диапазоне от 15 до 30 % по массе уменьшается глубина ее пропитки). При этом известно устройство для измерения влажности пиломатериалов, содержащее электровлагомер и пару изолированных электродов, датчик для измерения температуры древесины, про-



граммируемый логистический контроллер и информационную панель [14]. Необходима установка большего количества приборов автоматики для исключения ошибок персонала при проведении работ. С учетом [15-18] на рис. 1 предлагается следующая установка:

Рис. 1. Схема компоновки технологического оборудования автоклава, предназначенного для пропитки древесины жидкостью [18]:

- 1 – Насос подачи жидкости,
- 2 – Гидростатический термогидравлический генератор давления,
- 3 – Теплообменники,
- 4 – Устройство, включающее электровлагомер и пару изолированных электродов, датчик для измерения температуры древесины,
- 5 – Информационная панель,
- 6 – Пропиточная емкость,
- 7 – Предохранительный клапан,
- 8 – Обратный запорный клапан,
- 9 – Насос подачи жидкости,
- 10 – Маневровая емкость,
- 11 – Возвратная магистраль,
- 12 – Программируемый логистический контроллер,
- 13 – Прямая магистраль.

Результаты исследования и их обсуждение

Установка для пропитки древесины жидкостью, содержащая пропиточную и, расположенную выше нее, маневровую емкости, соединенные магистралями, насосы, запорную регулирующую аппаратуру, гидростатический термогидравлический генератор давления, снабжена устройством, включающим электровлагомер и пару изолированных электродов, датчик для измерения температуры древесины, программируемый логистический контроллер и информационную панель, установленную с возможностью измерения величины сопротивления электрического тока, проходящего между концами электродов в древесине и выдачи цифрового сигнала на программируемый логистический контроллер и информационную панель для последующего формирования сигнала на запуск насосов, причем указанные генератор давления и устройство смонтированы внутри пропиточной емкости. Программируемый логистический контроллер должен быть выполнен с возможностью отправки сигнала по GSM-каналу на мобильный телефон.

Работа установки осуществляется в два этапа. В первый этап включается загрузка

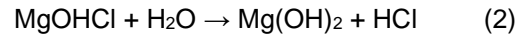
древесины в пропиточную емкость, включают теплообменники нагрева и охлаждения рабочего тела, далее специальным устройством производят замер влажности древесины, при этом информация ее влажности транслируется на информационной панели. При получении сигнала о результатах измерения влажности древесины в диапазоне 15–30 % по массе, информация об этом выводится на программируемый логистический контроллер, который блокирует включение насоса, подающего жидкость по возвратной магистрали, а также вакуумного насоса. При этом жидкость не подается и процесс пропитки не осуществляется. Далее производят замену древесины и повторение первого этапа. Древесину, извлеченную из пропиточной емкости, направляют на дополнительную сушку.

При получении сигнала о результатах измерения влажности древесины до 15 % по массе, информация об этом выводится на программируемый логистический контроллер, блокирование насоса не происходит, насос подает жидкость по возвратной магистрали. Начинается второй этап процесса пропитки. На втором этапе пропиточную емкость закрывают и герметизируют крышками. В загруженной емкости создают вакуум. Для этого включают

вакуумный насос. Время выдержки древесины в вакууме зависит от характеристик материала. В условиях создаваемого вакуума емкость заполняют жидкостью, при открытии соответствующей запорной и регулирующей аппаратуры и включении насоса, подающего жидкость по возвратной магистрали из маневровой емкости. При заполнении пропиточной емкости вакуумный насос отключают. С помощью запорной и регулирующей аппаратуры жидкостью из маневровой емкости создают гравитационный подпор давления жидкости в пропиточной емкости. Для создания рабочего давления жидкости приводят в действие гидростатический термогидравлический генератор давления.

Глубокая пропитка древесины водным раствором неорганических антипиренов харак-

теризуется химическим взаимодействием компонентов среды с органическими и неорганическими веществами, входящими в состав древесины. В связи с тем, что хлорид магния образован слабым основанием $Mg(OH)_2$ и сильной кислотой HCl , то его гидролиз идет по Mg^{2+} по схеме:



Физическая картина нанесения водного состава антипиренов на поверхность модели неограниченной пластины может быть смоделирована на рис. 2.

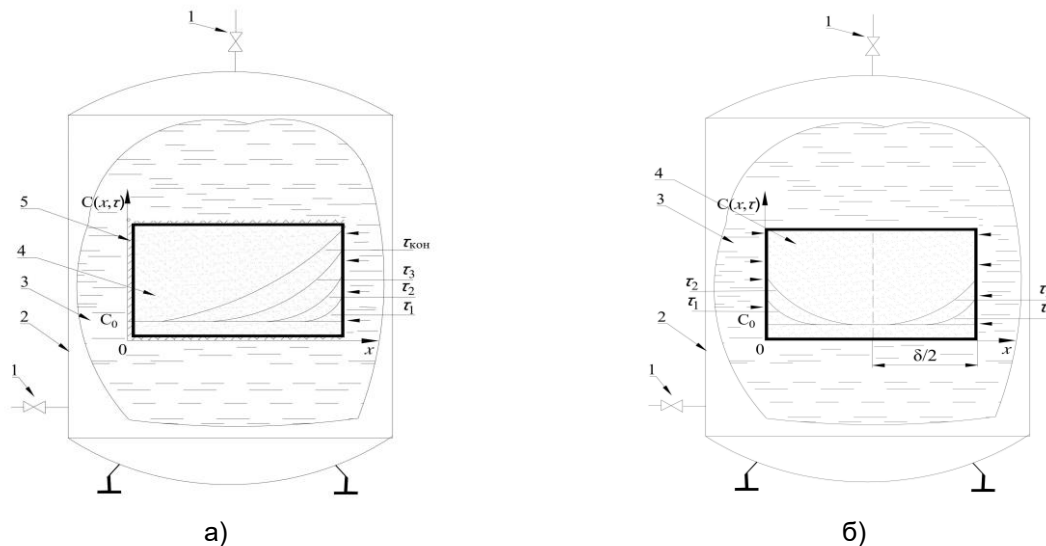


Рис. 2. Физическая картина гидротермической обработки образцов древесины сосны водными растворами неорганических солей: а) односторонняя диффузия; б) диффузия со всех сторон при демонстрации графика с двумя осями.

Обозначения: 1 – запорная арматура; 2 – вид автоклава в разрезе;

3 – водный раствор неорганической соли внутри емкости автоклава;

4 – исследуемый образец древесины сосны, размещенный внутри корпуса автоклава, в разрезе;

5 – гидро-термозащитное покрытие сторон (граней) исследуемых образцов древесины сосны;

δ – толщина деревянного бруска (доски), м; $C(x, \tau)$ – концентрация неорганической соли

в древесине в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , кг $MgCl_2$ /кг древесины;

C_0 – концентрация неорганической соли в древесине в начальный момент времени в произвольной точке с координатой x , кг $MgCl_2$ /кг древесины.

При обработке древесины способом глубокой пропитки, с использованием автоклава, отличительной чертой такого процесса является то, что переход переносимого компонента – «бишофита» из жидкой фазы в твердую происходит при условии ограниченного объема жидкой фазы, и концентрация вещества в жидкой фазе меняется во время про-

цесса. Для проведения оценочного расчета определим массообменные число Фурье, число Био, а также коэффициент, учитывающий характеристики фаз.

Для анализа условий данных примеров необходимы постановка и последующее решение краевой задачи нестационарной массопроводности, учитываются условия массопе-

реноса из объёма раствора антипирена через геометрические грани образца с учетом [23]:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = k \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0, 0 \leq x \leq \delta. \quad (3)$$

Начальное условие:

$$C(x, \tau)|_{\tau=0} = C(x, 0) = C_0 \quad (4)$$

Граничные условия:

$$\frac{\partial C(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$-k \frac{\partial C(\delta, \tau)}{\partial x} = \beta [C_p(\tau) - C(\delta, \tau)] \quad (6)$$

Уравнение (3) является дифференциальным уравнением нестационарной массопроводности (диффузии в твёрдом) антипирена.

Выражение (4) – начальное условие.

Запись (5) характеризует граничное условие на внутренней (закрытой) поверхности бруска.

Запись (6) отражает граничное условие III-го рода – условие массообмена на границе «жидкость – твёрдое».

В выражениях (3)–(6): $C(x, \tau)$ – концентрация бишофита в древесине в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , кг $MgCl_2$ /кг древесины; $C_{ж}(\tau)$ – концентрация бишофита в растворе в автоклаве, кг $MgCl_2$ /кг жидкости, $q_n(\tau)$ – плотность потока массы вещества, кг/($m^2 \cdot c$); C_p – величины равновесной концентрации на поверхности древесины; δ – толщина деревянного бруска (доски), который подвергается огнезащитной обработке, м; τ – время огнезащитной обработки древесины в автоклаве неорганическими антипиренами, C – распределение концентраций переносимого неорганического антипирена, кг; k – коэффи-

циент массопроводности, m^2/c ; β – коэффициент массоотдачи, m/c .

Поскольку в рассматриваемой системе происходит межфазный массоперенос, баланс массы для расчёта кинетики изменения концентрации антипирена запишется следующим образом:

$$S \rho_{Бк} \frac{\partial C(\delta, \tau)}{\partial x} = -V_{ж} \rho_{ж} \frac{\partial C_{ж}(\tau)}{\partial \tau}, \quad (7)$$

где левая часть – количество антипирена, переносимого через поверхность деревянного бруска (доски) S , m^2 ; правая часть – сокращение массы антипирена в объёме $V_{ж}$ автоклава, m^3 ; $\rho_{Б}, \rho_{ж}$ – плотности деревянного бруска (доски) и жидкости с антипиреном соответственно, $кг/м^3$. Знак «-» указывает на уменьшение концентрации антипирена в жидкости.

Вводя безразмерные переменные, можно получить:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0}, \bar{x} = \frac{x}{\delta}, Fo_m = \frac{k\tau}{\delta^2} \quad (8)$$

тогда система уравнений массопереноса примет вид:

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}, \quad (9)$$

$$Fo_m > 0, 0 \leq \bar{x} \leq 1.$$

$$C_0(x, 0) = C_0 \rightarrow \frac{C_0 - C(x, 0)}{C_0} = \frac{C_0 - C_0}{C_0} = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial Z(0, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = 0. \quad (11)$$

$$\frac{\partial Z_{ж}(Fo_m)}{\partial Fo_m} = -K_m \frac{\partial Z(1, Fo_m)}{\partial \bar{x}}. \quad (12)$$

Решения данной системы имеют вид:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{Z_{ж}(0)}{1 + K_m} - 2Bi_m Z_{ж}(0) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_m \bar{x})}{\psi'(\mu_m)} \exp(-\mu_m^2 Fo_m) \quad (13)$$

$$Z_{ж}(Fo_m) = Z_{ж}(0) \left\{ 1 + 2Bi_m K_m \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_m}{\mu_m \psi'(\mu_m)} [\exp(-\mu_m^2 Fo_m) - 1] \right\} \quad (14)$$

Эти решения позволяют рассчитывать динамику полей безразмерных концентраций антипирена в образце. Не составляет труда производить расчёты и для определения физических значений концентраций.

Кинетика изменения средней концентрации в образце, по которой можно проводить сравнение с опытными данными, определяется по выражению (15):

$$Z_{cp}(Fo_m) = \frac{Z_{ж}(0)}{1 + K_m} - 2Bi_m Z_{ж}(0) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_m \psi'(\mu_m)} \exp(-\mu_m^2 Fo_m) \quad (15)$$

При этом процесс огнезащитной обработки древесины в автоклаве характеризуется изменением концентрации антипирена в растворе и по толщине деревянного образца.

Решение краевой задачи массопроводности антипирена (9) – (12) для раствора антипирена в автоклаве при малых числах Фурье ($Fo_m \ll 0,1$) имеет вид:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{Bi_m Z_{ж}(0)}{\sqrt{Bi_m^2 - 4K_m}} \left[e^{-a_1(1-\bar{x}) + a_1^2 Fo_m} \operatorname{erfc}\left(\frac{1-\bar{x}}{2\sqrt{Fo_m}} - a_1\sqrt{Fo_m}\right) + e^{-a_2(1-\bar{x}) + a_2^2 Fo_m} \operatorname{erfc}\left(\frac{1-\bar{x}}{2\sqrt{Fo_m}} - a_2\sqrt{Fo_m}\right) \right] \quad (16)$$

Для жидкой фазы водного раствора антипирена при $\bar{x} = 1$ получено выражение:

$$\frac{Z_{ж}(Fo_m)}{Z_{ж}(0)} = 1 - \frac{Bi_m K_m}{\sqrt{Bi_m^2 - 4Bi_m K_m}} \times \left\{ 2 \sqrt{\frac{Fo_m}{\pi}} + a_1 \exp(a_1^2 Fo_m) (2 - \operatorname{erfc}(a_1 \sqrt{Fo_m}) - 1) - \left(2 \sqrt{\frac{Fo_m}{\pi}} + a_2 \exp(a_2^2 Fo_m) (2 - \operatorname{erfc}(a_2 \sqrt{Fo_m}) - 1) \right) \right\} \quad (17)$$

Здесь: Bi_m – критерии подобия Био; K_m – коэффициент, учитывающий характеристики фаз; a_1, a_2 – коэффициенты, являющиеся корнями квадратного уравнения, в котором величины для определения дискриминанта

равны: $a = Bi_m$; $b = K_m$; Fo_m – массообменный критерий Фурье; \bar{x} – заданная координата.

Для выражения (17) на рис. 3 и 4 представлены профили безразмерных концентраций переносимого антипирена в древесине в произвольный момент времени.

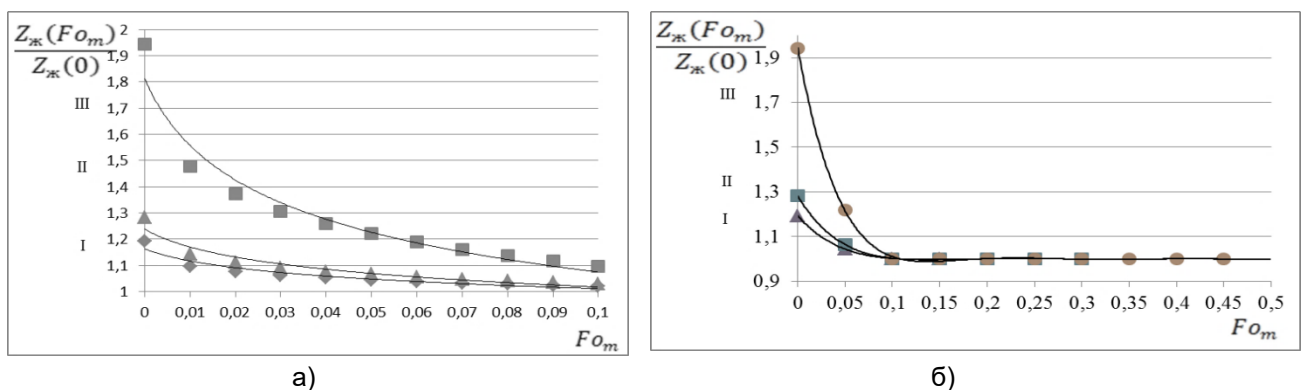
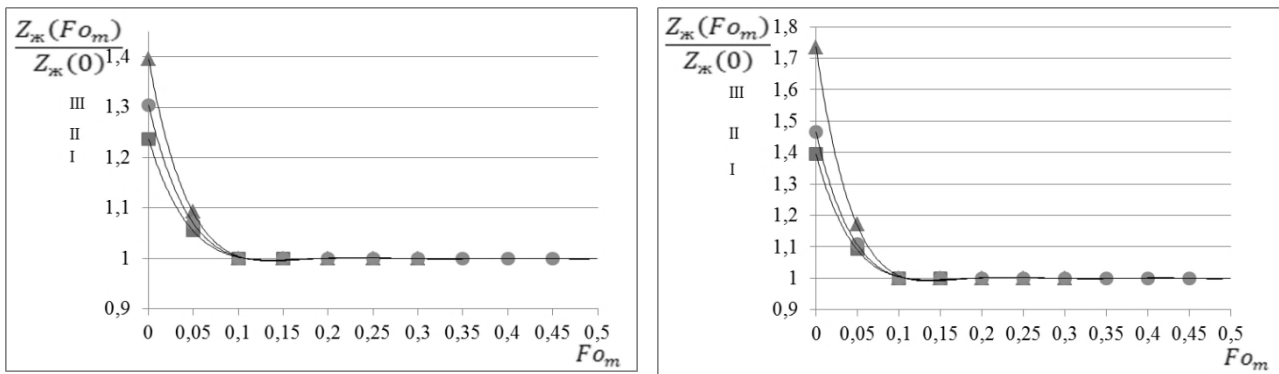


Рис. 3. Профили безразмерных концентраций $\frac{Z_{ж}(Fo_m)}{Z_{ж}(0)}$ на границе жидкости и древесины при гидротермической обработке 25% водным раствором бишофита только со стороны тангенциального среза бруска: а) при малых числах Фурье; б) для числа Фурье в диапазоне 0...0,5 для систем обработки древесины в автоклаве: I – в течение 1 часа, II – в течение 2 часов, III – в течение 3 часов.



а)

б)

Рис. 4. Профили безразмерных концентраций $\frac{Z_{ж}(Fo_m)}{Z_{ж}(0)}$ на границе жидкости и древесины при гидротермической обработке 25% водным раствором бишофита: а) только со стороны поперечного среза бруска, б) со всех сторон бруска: I – в течение 1 часа, II – в течение 2 часов, III – в течение 3 часов.

Краевая задача массопереноса антипирена в древесине имеет вид:

$$\frac{\partial U(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 U(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2} - Po_m(\bar{x}); \quad (18)$$

$$Fo_m > 0; \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1$$

Начальное условие:

$$U(\bar{x}, 0) = 1; \quad (19)$$

Граничные условия:

$$\frac{\partial U(0, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2} = 0; \quad (20)$$

$$\frac{\partial U(1, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = -Bi_m \cdot U(1, Fo_m) \quad (21)$$

Решение для внутренней части древесины по варианту б) и в) для уравнений (18) и (21) в безразмерных переменных будет иметь вид:

$$\frac{\partial U(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = \int_0^1 Po_m(\xi) d\xi + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{-\sin(\mu_m \bar{x}) (\mu_m \cdot \cos \mu_m + Bi_m \cdot \sin \mu_m)}{\mu_m [(Bi_m + 1) \sin \mu_m + \mu_m \cdot \cos \mu_m]} \times \left[\mu_m \cdot \sin \mu_m - \int_0^1 Po_m(\xi) \cos(\mu_m \xi) d\xi \right] \exp(-\mu_m^2 Fo) \quad (22)$$

Здесь: Po_m – число Померанцева; Fo_m – массообменный критерий Фурье; Bi_m – критерии подобия Био; μ_m – корни характеристического уравнения; U – безразмерная концентрация антипирена; ξ – переменная интегрирования по координате; \bar{x} – заданная координата.

Для того, чтобы получить выражение для расчета профилей концентраций во всем объеме бруска, используем принцип суперпозиции [22, 23], согласно которому:

$$U(\bar{x}, \bar{y}, Fo_{\bar{x}}, Fo_{\bar{y}}) = U(\bar{x}, Fo_{\bar{x}}) \cdot U(\bar{y}, Fo_{\bar{y}}), \quad (23)$$

где:

$$Fo_{\bar{x}} = \frac{k\tau}{\delta^2}; \quad Fo_{\bar{y}} = \frac{k\tau}{l^2} \quad (24)$$

δ – толщина бруска, м, l – длина бруска, м.

Графическая визуализация результатов вычислений представлена на рис. 5, который характеризует влияние изменения концентрации антипирена в древесине бруска по его толщине. Как следует из рисунка, в углах деревянных брусков безразмерная концентрация антипирена выше.

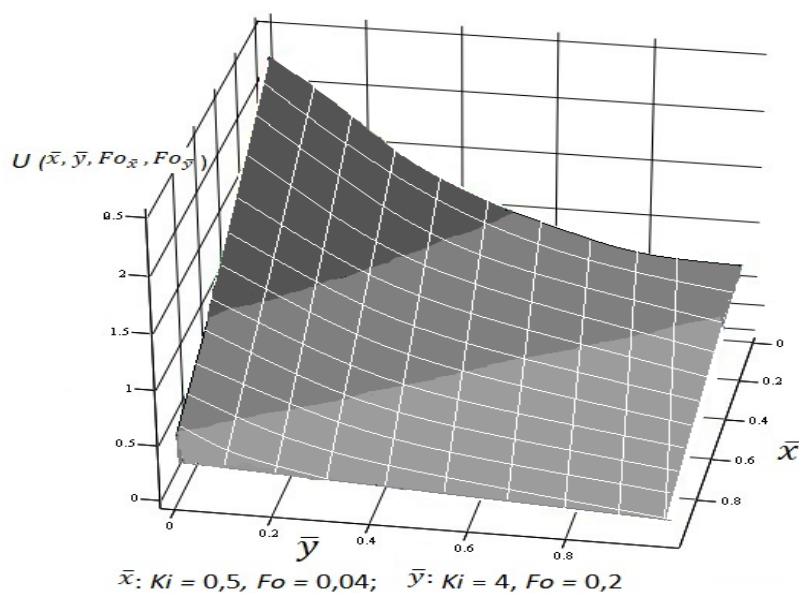


Рис. 5. Профили безразмерных концентраций антипирена в древесине $U(\bar{x}, \bar{y}, Fo_{\bar{x}}, Fo_{\bar{y}})$

Заключение

1. Предложенное техническое решение повышает эффективность работы установки для пропитки древесины жидкостью, обеспечивает надежный контроль влажности древесины и концентрации антипиренов и антисептиков в пропиточной жидкости, позволяет исключить производство бракованной продукции. При использовании в качестве жидкости антипиренов и антисептиков повышается их степень диффузии в древесину, тем самым повышается ее огнезащита, защита от древесных паразитов и гниения. Это особенно важно для модификации древесины, использовать которую предполагается при строительстве многоэтажных зданий.

2. Описана физико-математическая модель нестационарного массопереноса неорганического антипирена в системе «древесина – жидкая среда автоклава». Получены аналитические

решения нестационарного массопереноса в условиях ограниченного объема жидкости водного раствора бишофита. Рассчитаны распределение массосодержаний бишофита по толщине деревянного бруска (доски) и концентрация данной соли в водном растворе в автоклаве. Указанные обстоятельства позволяют прогнозировать процессы глубокой пропитки древесины неорганическими антипиренами в рассматриваемых условиях. Для трех случаев пропитки (только со стороны тангенциального среза, только со стороны радиального среза, со всех сторон) проведены численные эксперименты. Результаты расчета показывают изменение массосодержаний при глубокой пропитке древесины бишофитом в безразмерных переменных, при отличающихся параметрах процесса, отражаемых в массообменных критериях подобия (Фурье, Био).

Список литературы

1. Комиссаров А. П. Ресурсосберегающие технологии и оборудование для гидротермической обработки древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 1997. № 1. С. 14–16.
2. Изменение компонентного состава древесины при гидротермической обработке / А. Д. Платонов, Т. К. Курьянова, С. Н. Снегирева [и др.] // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. № 2 (14). С. 155–158.
3. Михайлова Ю. С. Изменение свойств древесины твердых лиственных пород и выде-

ление вредных веществ при гидротермической обработке: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Воронеж, 2012. 16 с.

4. Платонов А. Д., Чернышов М. М., Снегирева С. Н. Влияние гидротермической обработки на изменчивость статической твердости прессованной древесины // Перспективы развития и основные вопросы в науке: материалы Национальной научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. 2023. С. 93–97.

5. А.с. 37697 А1 СССР, МПК В01J 3/04. Автоклав / Г. А. Михайловский. № 133366; опубл. 31.07.1934.
6. А.с. 1344399 А1 СССР, МПК В01J 3/00. Автоклав / А. Н. Колотов, Е. А. Долгов, Е. П. Макаров. № 4080339; опубл. 15.10.1987, Бюл. № 39.
7. А.с. 1770951 СССР, МПК G05D 23/19. Устройство для программного поддержания температуры в автоклаве / В. И. Колокольцев, А. В. Бронфенбрер, В. П. Пушков [и др.]. № 4832111; опубл. 23.10.1992, Бюл. № 39.
8. А.с. 663424 А1 СССР, МПК В01J 3/00. Система автоматического регулирования процесса термовлажностной обработки в автоклаве / Д. А. Буре, К. П. Виткаускас. № 2444868; опубл. 25.05.1979, Бюл. №19.
9. А.с. 1143453 А1 СССР, МПК В01J 3/00. Автоклав для гидротермической обработки материалов / А. Г. Бойко, И. Д. Воронов, Н. А. Гулый. № 3621700; опубл. 07.03.1985, Бюл. № 9.
10. А.с. 644525 А1 СССР, МПК В01J 3/04. Автоклав / Г. Г. Устинкин, Е. И. Михайловский. № 1826532; опубл. 30.01.1979, Бюл. № 4.
11. Патент 2722580 С1 Российская Федерация МПК F26B 9/06, F26B 3/34. Устройство и способ высокотемпературной обработки древесины / В. А. Жирнов; опубл. 01.06.2020, Бюл. № 16.
12. Патент 2453425 С1 Российская Федерация, МПК В27К 3/02. Способ термической обработки древесины / Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Е. Ю. Разумов; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17.
13. Патент 213065 U1 Российская Федерация, МПК В27К 3/02. Универсальный автоклав для сушки и пропитки древесины / А. Р. Бирман, В. Г. Бондалетов, Ф. Х. Гареев; опубл. 23.08.2022, Бюл. № 24.
14. Патент 2124434 С1 Российская Федерация, МПК В27К 3/08. Способ автоклавной пропитки древесины / Д. Н. Деревянных, В. Н. Ермолин; опубл. 10.01.1999.
15. А.с. 1245431 А1 СССР, МПК В27К 5/04, В27К 3/10. Устройство для сушки и пропитки древесины / В. А. Суханов, Л. П. Зигмантавичюс, А. В. Самошин. № 3842441; опубл. 23.07.1986, Бюл. № 27.
16. Патент 2595392 С1 Российская Федерация, МПК В27К 3/10. Установка для пропитки древесины жидкостью / В. И. Мелехов, Е. В. Сазанова; опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24
17. Патент 93537 U1 Российская Федерация, МПК G01N 27/02. Устройство для измерения влажности пиломатериалов / Д. Л. Павлов, Н. А. Греб, И. М. Кудинов [и др.]; опубл. 27.04.2010.
18. Патент RU 2810901 С1, 29.12.2023. Заявка от 24.07.2023. Установка для пропитки древесины жидкостью / Д. Е. Цветков, С. В. Федосов, Ю. А. Щепочкина [и др.]; опубл. 29.12.2023, Бюл. № 1.
19. Об оценке качества пропитки древесины неорганическими антипиренами при автоклавировании / С. В. Федосов, А. А. Лазарев, Д. Е. Цветков [и др.] // Строительное материаловедение: настоящее и будущее: сборник материалов III Всероссийской научной конференции, посвящённой девяностолетию кафедры Строительного материаловедения. М.: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. С. 315–318.
20. Оценка качества пропитки древесины неорганическими антипиренами при автоклавировании / С. В. Федосов, А. А. Лазарев, Д. Е. Цветков [и др.] // Строительные материалы. 2023. № 11. С. 5–9.
21. Fedosov S. V., Lazarev A. A., Tsvetkov D. E. On the Problem of Studying the Diffusion of Flame Retardants in Wood // Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Application 2022 (ICERA 2022). AIP Conf. Proc. 2936, 020005 (2023).
22. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория тепло- и массопереноса. М.–Л.: ГЭИ, 1963, 536 с.
23. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Методы математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах. М.: АСВ, 2021. 246 с.

References

1. Komissarov A. P. Resursosberegayuschie tehnologii i oborudovanie dlya gidrotermicheskoy obrabotki drevesinyi [Resource-saving technologies and equipment for hydrothermal wood processing]. *Derevoobrabatyivayushchaya promyshlennost*, 1997, issue 1, pp. 14–16.
2. Izmenenie komponentnogo sostava drevesinyi pri gidrotermicheskoy obrabotke [Changes in the component composition of wood during hydrothermal treatment] / A. D. Platonov, T. K. Kuryanova, S. N. Snegireva [et al.]. *Lesotekhnicheskij jurnal*, 2014, issue 4, vol. 2 (14), pp. 155–158.
3. Mihaylova Yu. S. Izmenenie svoystv drevesinyi tverdyih listvennyih porod i vyidelenie vrednyih veschestv pri gidrotermicheskoy obrabotke. Avtoreferat dis... kan. tekhn. nauk [Changing the properties of hardwood and the release of harmful substances during hydrothermal treatment]. Voronej, 2012. 16 p.
4. Platonov A. D., Chernyishov M. M., Snegireva S. N. Vliyanie gidrotermicheskoy obrabot-

ki na izmenchivost staticheskoy tverdosti pressovannoy drevesiny [The effect of hydrothermal treatment on the variability of the static hardness of pressed wood]. *Perspektivy razvitiya i osnovnyie voprosy v nauke: materialy Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Voronej: Voronejskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskij universitet im. G. F. Morozova, 2023, pp. 93–97.

5. Mihaylovskiy G. A. A.s. 37697 A1 SSSR, MPK B01J 3/04. Avtoklav [Autoclave], № 133366, opubl. 31.07.1934.

6. Kolotov A. N., Dolgov E. A., Makarov E. P. A.s. 1344399 A1 SSSR, MPK B01J 3/00. Avtoklav [Autoclave], № 4080339, bjulleten № 39.

7. Kolokoltsev V. I., Bronfenbrener A. V., Pushkov V. P. [et al.]. A.s. 1770951 SSSR, MPK G05D 23/19. Ustroystvo dlya programmogo podderjaniya temperatury v avtoklave [A device for programmatically maintaining the temperature in an autoclave], № 4832111, bjulleten № 39.

8. Bure D. A., Vitkauskas K. P. A.s. 663424 A1 SSSR, MPK B01J 3/00. Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya protsessa termovlajnostnoy obrabotki v avtoklave [The system of automatic regulation of the process of thermal moisture treatment in an autoclave], № 2444868, bjulleten № 19.

9. Boyko A. G., Voronov I. D., Gulyiy N. A. A.s. 1143453 A1 SSSR, MPK B01J 3/00. Avtoklav dlya gidrotermicheskoy obrabotki materialov [Autoclave for hydrothermal treatment of materials], № 3621700, bjulleten № 9.

10. Ustinkin G. G., Mihaylovskiy E. I. A.s. 644525 A1 SSSR, MPK B01J 3/04. Avtoklav [Autoclave], № 1826532, bjulleten № 4.

11. Jirnov V. A. Ustroystvo i sposob vyisokotemperaturnoy obrabotki drevesiny [The device and method of high-temperature processing of wood], Patent 2722580 C1 Rossiyskaya Federatsiya MPK F26B 9/06, F26B 3/34. opubl. 01.06.2020, Byul. № 16.

12. Safin R. R., Hasanshin R. R., Razumov Yu.E. Sposob termicheskoy obrabotki drevesiny [Method of heat treatment of wood], Patent 2453425 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 3/02, opubl. 20.06.2012, Byul. № 17.

13. Birman A. R., Bondaletov V. G., Gareev F. H. Universalnyy avtoklav dlya sushki i propitki drevesiny [Universal autoclave for drying and impregnation of wood], Patent 213065 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 3/02. opubl. 23.08.2022, Byul. № 24.

14. Derevyannyih D. N., Ermolin V. N. Sposob avtoklavnoy propitki drevesiny [The method of autoclave impregnation of wood], Patent 2124434 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 3/08. opubl. 10.01.1999.

15. Suhanov V. A., Zigmantavichyus L. P., Samoshin A. V. A.s. 1245431 A1 SSSR, MPK B27K 5/04, B27K 3/10. Ustroystvo dlya sushki i propitki drevesiny [A device for drying and impregnating wood], № 3842441, bjulleten № 27.

16. Melehov V. I., Sazanova E. V. Ustanovka dlya propitki drevesiny jdkostyu [Installation for impregnating wood with liquid], Patent 2595392 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 3/10, opubl. 27.08.2016, Byul. № 24.

17. Ustroystvo dlya izmereniya vlajnosti pilomaterialov [A device for measuring the moisture content of lumber] / D. L. Pavlov, N. A. Greb, I. M. Kudinov [et al.]. Patent 93537 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01N 27/02, opubl. 27.04.2010.

18. Ustanovka dlya propitki drevesiny jdkostyu [Installation for impregnating wood with liquid] / D. E. Tsvetkov, S. V. Fedosov, Yu. A. Schepochkina [et al.]. Patent RU 2810901 C1, opubl. 29.12.2023, Byul. № 1.

19. Ob otsenke kachestva propitki drevesiny neorganicheskimi antipirenamy pri avtoklavirovanii [On the assessment of the quality of impregnation of wood with inorganic flame retardants during autoclaving] / S. V. Fedosov, A. A. Lazarev, D. E. Tsvetkov [et al.]. *Stroitelnoe materialovedenie: nastoyashee i budushee: sbornik materialov III Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyaschënnoy devyanostoletiyu kafedry Stroitel'nogo materialovedeniya*, 2023. pp. 315–318.

20. Otsenka kachestva propitki drevesiny neorganicheskimi antipirenamy pri avtoklavirovanii [Assessment of the quality of impregnation of wood with inorganic flame retardants during autoclaving] / S. V. Fedosov, A. A. Lazarev, D. E. Tsvetkov [et al.]. *Stroitelnyie materialy*, 2023, № 11, pp. 5–9.

21. Fedosov S. V., Lazarev A. A., Tsvetkov D. E. On the Problem of Studying the Diffusion of Flame Retardants in Wood // *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Application 2022 (ICERA 2022)*. AIP Conf. Proc. 2936, 020005 (2023).

22. Lykov A. V., Mikhaylov Yu. A. *Teoriya teplo - i massoperenosa* [Theory of heat and mass transfer]. Moscow–L.: GEI. 1963. 536 p.

23. Fedosov S. V., Rummyantseva V. E., Krasil'nikov I. V. *Metody matematicheskoy fiziki v prilozheniyakh k problemam korrozii betona v zhidkikh agressivnykh sredakh* [Methods of mathematical physics in applications to the problems of concrete corrosion in liquid aggressive media]. Moscow: ASV, 2021. 246 p.

Федосов Сергей Викторович

Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), Институт промышленного и гражданского строительства (ИПГС), кафедра технологии и организации строительного производства (ТОСП),

Российская Федерация, г. Москва

академик РААСН, доктор технических наук, профессор

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Fedosov Sergey Viktorovich

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Institute of Industrial and Civil Engineering (IPGS),

Department of Technology and Organization of Construction Production (TOSP),

Russian Federation, Moscow

academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of Technical Sciences, professor

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Лазарев Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, кандидат педагогических наук, доцент, начальник кафедры

E-mail: kpond@edufire37.ru

Lazarev Alexander Alexandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, candidate of pedagogical sciences, docent, head of the department

E-mail: kpond@edufire37.ru

Цветков Дмитрий Евгеньевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

соискатель ученой степени кандидата технических наук

E-mail: cvetkov-dmitrii@mail.ru

Tsvetkov Dmitry Evgenievich

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

applicant for the degree of Candidate of Technical Sciences

E-mail: cvetkov-dmitrii@mail.ru

Комлёв Андрей Юрьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

соискатель ученой степени кандидата технических наук

E-mail: mchs04@mail.ru

Komlev Andrey Yurievich

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

Russian Federation, Ivanovo

applicant for the degree of Candidate of Technical Sciences

E-mail: mchs04@mail.ru

УДК 614.841.3

РАЗРАБОТКА ПЕРФОРИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС В ЦЕЛЯХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КАСКАДНЫХ ПОЖАРОВ В СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЯХ ВЬЕТНАМА

Д. Ч. ЧАН

ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»
Российская Федерация, г. Москва
E-mail: tranductrung56@gmail.com

Высокая пожарная опасность жилых сооружений сельских поселений Вьетнама обусловлена использованием в строительстве горючих материалов, имеющих пониженную огнестойкость. Для строительства жилья население использует доступный природный материал: древесину, бамбук, ротанг, листья кокосового и бананового деревьев и иные пожароопасные материалы. Удаленность сельских поселений от подразделений пожарной охраны также негативно влияет на своевременное начало действий по спасению людей и тушению пожаров в случаях их возникновения. Необходимо отметить, что дороги и подъезды к жилым сооружениям сельских поселений практически не имеют твердого покрытия, что негативно влияет на время реагирования подразделений пожарной охраны при пожарах. Рассматриваемые проблемы негативно оказывают влияние на состояние пожарной безопасности сельских поселений Вьетнама и требуют проведения научных исследований вопросов ограничения массового распространения пожаров в жилых сооружениях пониженной огнестойкости.

Автором публикации разработаны экспериментальные образцы перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом воды для создания водяных завес, которые могут выполнять раздельно или в совокупности следующие основные задачи:

- экранирование тепловых потоков горящих зданий, в целях исключения распространения горения за её пределы;
- создание орошаемой полосы на поверхности земли, служащей в качестве противопожарной преграды для предотвращения распространения пожара по различной природной растительности.

Применение населением и пожарными перфорированных трубопроводов для создания водяных завес позволит ограничить распространение огня по территории поселения и предотвратить каскадное развитие пожара.

Ключевые слова: пожар, перфорированный трубопровод, водяная завеса, сельское поселение, массовый пожар, жилое сооружение.

DEVELOPMENT OF PERFORATED PIPELINES TO CREATE WATER CURTAINS IN ORDER TO PREVENT CASCADING FIRES IN RURAL SETTLEMENTS OF VIETNAM

D. Tr. TRAN

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia»
Russian Federation, Moscow
E-mail: tranductrung56@gmail.com

The high fire danger of residential structures in rural settlements in Vietnam is due to the use of combustible materials with reduced fire resistance in construction. For housing construction, the population uses available natural materials: wood, bamboo, rattan, leaves of coconut and banana trees and other fire-hazardous materials. The remoteness of rural settlements from fire protection units also negatively affects the timely initiation of actions to rescue people and extinguish fires, in cases of their occurrence. It should be noted that roads and entrances to residential buildings in rural settlements practically do not have a hard surface, which negatively affects the response time of fire protection units in case of fires. The problems under consideration have a negative impact on the state of fire safety in rural settlements in Vietnam and require scientific research on the issues of limiting the mass spread of fires in residential buildings with reduced fire resistance.

The author of the publication has developed experimental samples of perforated pipelines with continuous water flow to create water curtains that can perform the following main tasks separately or in combination:

- shielding of the heat flows of burning buildings in order to prevent the spread of gorenje beyond its limits;
- creation of an irrigated strip on the surface of the earth, serving as a fire barrier to prevent the spread of fire through various natural vegetation.

The use of perforated pipelines by the population and firefighters to create water curtains will limit the spread of fire throughout the settlement and prevent the cascading development of a fire.

Keywords: fire, perforated pipeline, water curtain, rural settlement, massive fire, residential structure.

Введение

Произошедшие массовые пожары в жилых сооружениях сельских поселений Вьетнама побудили искать решения этой проблемы [1]. Отметим, что помимо высокой пожарной опасности жилых сооружений, выполненных из строительных материалов высокой горючести, существует проблематика быстрого реагирования подразделений пожарной охраны для своевременного тушения возникших пожаров [2]. На это в свою очередь влияет удаление сельских поселений от реагирующих подразделений, а также отсутствие дорог с твердым покрытием для доставки личного состава, огне-тушащих веществ и техники, приспособленной для целей пожаротушения [3]. Все вышеуказанное может привести к массовым пожарам в сельских поселениях Вьетнама и полным их уничтожением огненной стихией.

Учитывая возможности пожарных подразделений, их укомплектованность пожарно-техническим вооружением, в целях ограничения распространения каскадных пожаров в сельской местности предлагается использование перфорированных трубопроводов для создания водяных завес.

Целью работы являлась разработка экспериментальных образцов трубопроводов с непрерывным расходом воды для создания водяных завес и их возможность применения в сельских поселениях Вьетнама для ограничения распространения пожаров.

Трубопроводы с непрерывным расходом воды

Необходимо отметить, что в гидравлике существует такое понятие как трубопроводы с непрерывным расходом воды (рис. 1.)

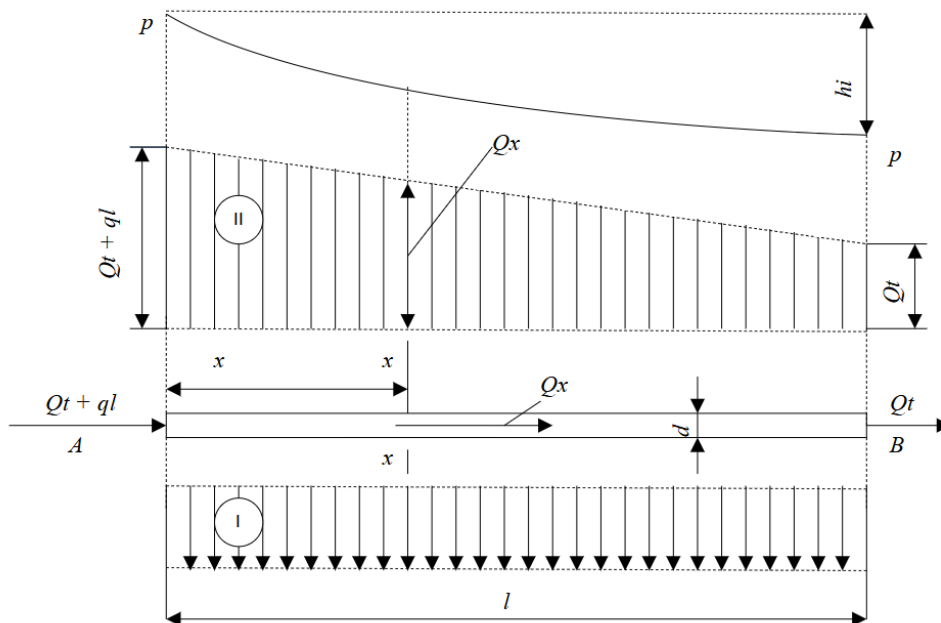


Рис. 1. Истечение жидкости из перфорированного трубопровода

В качестве примера можно привести трубопроводы, применяемые для нужд пожаротушения при пожарах, выполненные в виде систем орошения. Основная цель таких водяных завес — это тушение пожаров и ограничение распространения огня в прилегающие помещения (здания) различного назначения. При проектировании различных систем пожаротушения на основе перфорированного трубопровода (сплинклерные, дренчерные системы пожаротушения) расчётом определяется величина потерь напора. Так, авторами учебного пособия [4] в процессе расчёта установлено, что в случае непрерывного расхода воды по длине трубопровода потери напора в три раза меньше, чем при отсутствии отбора.

Необходимо отметить, что перфорированные трубопроводы используются в настоящее время в различных отраслях промышленности, в золотодобыче (для промывки извлекаемого грунта), для осаждения вредных аварийно-химических опасных веществ (при ликвидации последствий техногенных аварий и катастроф), для охлаждения резервуаров с горючими жидкостями (объекты хранения горючих жидкостей), в терминалах и портах предприятий нефтяной промышленности (с целью ограничения распространения пожаров). Также перфорированные трубопроводы используются подразделениями авиалесоохраны и пожарно-спасательными подразделениями в России, Республике Беларусь, Китайской Народной Республике в целях пожаротушения и создания защитных полос для ограничения распространения пожаров. Анализируя разработки в этой отрасли отмечу, что во Вьетнаме перфорированные трубопроводы для создания водяных завес подразделениями пожарной охраны не применяются ввиду их отсутствия. Целью ра-

боты является разработка экспериментальных образцов трубопроводов с непрерывным расходом воды.

Разработка перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом воды

Переходя к техническому вопросу создания перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом воды для создания водяных завес силами подразделений пожарной охраны Вьетнама отметим, что в течение текущего года были разработаны экспериментальные образцы трубопровода, выполненные в двух вариантах, которые по способу применения можно разделить на:

– мобильный, выполненный в виде гибкого трубопровода – пожарного рукава, с встроенными дюзами (форсунками) определенных конфигураций для создания водяной завесы;

– стационарный, выполненный из полипропиленовых труб с тройниками и дюзами (насадками–распылителями).

На рис. 2 представлен этап разработки экспериментального образца перфорированного трубопровода с непрерывным расходом, выполненный для последующего использования в стационарном варианте. Подразумевается, что перфорированные трубопроводы стационарного применения, выполненные в виде сухотрубов, должны устанавливаться (размещаться) на территории сельского поселения в наиболее опасных, с точки зрения пожарной безопасности местах – между жилыми сооружениями, расположенными на малых расстояниях друг от друга, с учетом преобладающего направления ветра.



Рис. 2. Изготовление экспериментального образца перфорированного трубопровода с непрерывным расходом воды для стационарного использования

На рис. 3 представлено место возможной установки стационарного трубопровода, расположенного между двумя расположенными вблизи друг от друга жилыми сооружениями пониженной огнестойкости сельского поселения Вьетнама.



Рис. 3. Установка перфорированного стационарного трубопровода между жилыми сооружениями пониженной огнестойкости



Рис. 4. Водяная завеса, полученная при испытании экспериментального образца перфорированного трубопровода с непрерывным расходом, выполненного в стационарном варианте

Предлагаемые к использованию стационарные трубопроводы для создания водяных завес должны быть подключены к насосу, установленному на водоисточник и, в случаях возникновения пожаров, до прибытия подразделений пожарной охраны, обученный житель сельского поселения или добровольный пожарный в кратчайшее время должен осуществить запуск мотопомпы и подать воду в сухотрубы, для получения водяных завес. Вышеперечисленное позволит ограничить распространение огня на близлежащие объекты, предотвратив каскадное развитие пожара в сельском поселении на период времени прибытия подразделений пожарной охраны.

Также необходимо отметить, что место установки насоса для подачи воды должно быть выбрано с учетом его длительной работы (по запасу воды). Особенностью расположения сельских поселений Вьетнама является их близость к природным источникам воды, которые используются населением для хозяйственно-питьевых нужд, для полива сельскохозяйственных культур и могут являться источниками противопожарного водоснабжения [5]. Полагается целесообразным размещение вблизи установки насоса отдельного строения, в котором необходимо предусмотреть запас топлива для длительного периода работы насоса, а также необходимый резерв запасных частей, в случаях выхода насоса из строя (или запасной насос).

На рис. 4 представлена водяная завеса, полученная при испытании во Вьетнаме в текущем году экспериментального образца перфорированного трубопровода с непрерывным расходом, выполненного для стационарного варианта использования.

Следующим решением вопросов предотвращения развития каскадных пожаров в сельских поселениях Вьетнама является использование гибких перфорированных трубопроводов для создания водяных завес. Отметим что подразделение пожарной охраны, охраняющее сельское поселение от пожаров имеет на вооружении пожарную мотопомпу и пожарные рукава, условным диаметром 50 мм. Для доставки личного состава и пожарно-технического вооружения используются мотоциклы, приспособленные для этих целей [6].

Более современная техника, на базе пожарных автоцистерн с запасом воды и специальных технических средств борьбы с пожарами не применяется ввиду дороговизны ее эксплуатации, необходимости строительства пожарных депо, а также вышеуказанных проблем, связанных с возможностью ее проезда по грунтовым дорогам сельских поселений, особенно в распутицу. Таким образом, исходя из тактических возможностей подразделений

пожарной охраны, реагирующих на пожары в сельских поселениях, представляется возможным применение гибких перфорированных трубопроводов для создания водяных завес на необходимых участках для недопустимости перехода пожара на другие строения и образования массовых очагов пожара.

На рис. 5 представлен экспериментальный образец гибкого перфорированного трубопровода с непрерывным расходом, выполненный в мобильном варианте. Для снятия показателей давления в начале и конце гибкого перфорированного трубопровода предусматривались вставки с выносными манометрами. В качестве сменных дюз были использованы сменные форсунки различных конфигураций. При проведении экспериментального исследования работоспособности гибкого перфорированного трубопровода с непрерыв-

ным расходом воды для создания водяной завесы выявлено, что малочисленное подразделение пожарной охраны Вьетнама способно, с использованием имеющегося пожарнотехнического вооружения установить водяную завесу на расстоянии 100 метров от водисточника, при этом высота получаемых струй завесы равна 6-ти метрам, а при ее прокладке на наклонной поверхности высота составила от 5 до 5,5 м., одновременно создавая увлажненную орошаемую полосу, препятствующую распространению пожара (рис. 6).

С учетом основной цели — ограничения распространения пожара на соседние объекты, на рис. 7 представлены возможные схемы установки перфорированных рукавов и трубопроводов с непрерывным расходом для создания водяных завес при возможных пожарах в сельских поселениях Вьетнама.



Рис. 5. Экспериментальный образец гибкого перфорированного трубопровода с непрерывным расходом, выполненный в мобильном варианте



Рис. 6. Экспериментальные исследования работоспособности гибкого перфорированного трубопровода с непрерывным расходом воды для создания водяной завесы

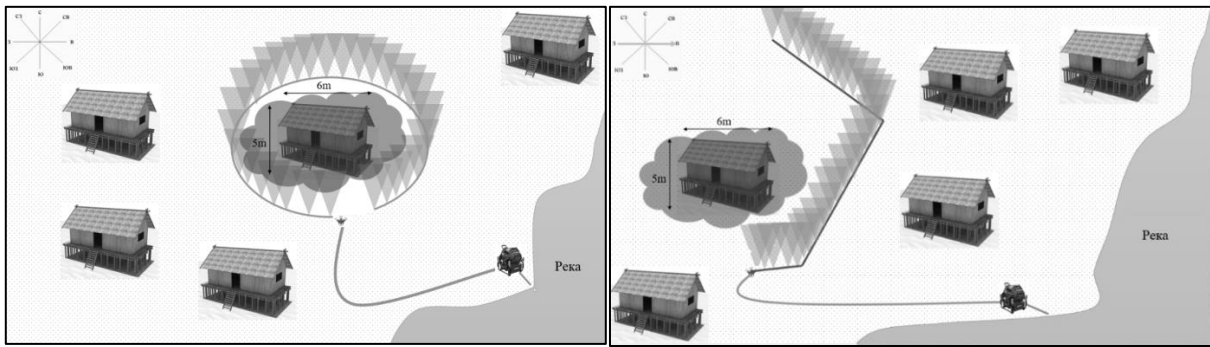


Рис. 7. Использование перфорированных трубопроводов для ограничения распространения пожаров в жилых сооружениях пониженной огнестойкости во Вьетнаме

На схемах показано, что при использовании гибкого перфорированного трубопровода его можно разместить в виде кольца вокруг горящего сооружения, при этом основные силы пожарного подразделения направить на тушение пожара. Стационарные трубопроводы также будут эффективны при их работе в первые минуты развития пожара до прибытия подразделений пожарной охраны, создавая водяную завесу и орошаемую зону.

Расчет параметров работы перфорированных трубопроводов на нужды пожаротушения

В целях получения данных для организации тушения пожаров в жилых сооружениях пониженной огнестойкости проведем расчет расхода жидкости при истекании из разработанного экспериментального образца гибкого перфорированного трубопровода. Так, гибкий перфорированный трубопровод выполнен на основе пожарного напорного рукава, с условным диаметром 50 мм и имеет 14 форсунок для получения водяной завесы. Форсунки расположены на равных расстояниях друг от друга. На конце перфорированного рукава установлена заглушка.

При проведении экспериментальных исследований по получению водяной завесы были использованы несколько вариантов форсунок с условными диаметрами от 2.8 мм до 4.4 мм. Выбор был обоснован использованием имеющегося на вооружении подразделения пожарной охраны мотопомпы и пожарнотехнического вооружения.

При проведении экспериментальных исследований лучшие результаты показали форсунки, условным диаметром 3,6 мм и 4.4 мм. При использовании форсунок с диаметром отверстий 4.4 мм получены наиболее компактные веерообразные струи высотой до 6.5 метров. При этом необходимо отметить выбор наиболее правильного угла распыления

форсунок. Так, в результате экспериментального подбора форсунок с различными углами распыления воды были выбраны форсунки с углом распыления в 25 градусов.

Проведем расчет расхода воды при работе перфорированного рукава с форсунками диаметром 3.6 мм.

$$Q_{\text{перф.рук}} = \sum_{I=1}^K N_{I,\text{приб}}^m \cdot q_{\text{форс.}}$$

где $N_{I,\text{приб}}^m$ – количество технических приборов, обеспечивающих подачу огнетушащего вещества на тушение (количество форсунок);

$q_{\text{форс.}}$ – расход одной форсунки, обеспечивающей подачу огнетушащего вещества на тушение (л/с);

$Q_{\text{перф.рук}}$ – Фактический расход огнетушащего вещества перфорированного рукава с непрерывным расходом воды.

Данные о расходе жидкости, истекающей из одной форсунки за единицу времени представлены в табл. 1, разработанной заводом-изготовителем.

Отметим, что используемая в экспериментах пожарная мотопомпа может работать в двух режимах и создавать напор на насосе в 6 бар (атм.) и 8 бар (атм.).

Так, при 6 бар (атм.) расход жидкости при использовании перфорированного трубопровода с форсунками диаметром 3,6 мм будет равен:

$$Q_{\text{перф.рук}} = \frac{16,5 \cdot 14}{60} = 3,85 \text{ (л/с)},$$

При 8 бар (атм.) расход жидкости при использовании перфорированного трубопровода с форсунками диаметром 4.4 мм будет равен:

$$Q_{\text{перф.рук}} = \frac{19,1 \cdot 14}{60} = 4,46 \text{ (л/с)}.$$

Таблица 1. Параметры форсунок, установленных заводом-изготовителем

Flow Factor	Connections			Dia. (mm)	US (gpm at 40 psi)	Pressure (Bar)											
	1/8"	1/4"	3/8"			0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	
						Capacity (Lpm)											
03	•	•		1,1	0,3	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2	2,7	3,1	
04	•	•		1,3	0,4	0,7	0,9	1,3	1,6	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,6	4,1	
048	•	•		1,4	0,5	0,8	1,1	1,6	1,9	2,2	2,5	2,7	3,1	3,5	4,2	4,9	
06	•	•		1,6	0,6	0,9	1,3	1,9	2,3	2,7	3,0	3,3	3,8	4,2	5,1	5,9	
07	•	•		1,7	0,8	1,1	1,6	2,3	2,8	3,2	3,6	4,0	4,6	5,1	6,3	7,2	
08	•	•		1,8	0,9	1,3	1,8	2,6	3,2	3,7	4,1	4,5	5,2	5,8	7,2	8,3	
10	•	•	•	2,0	1,1	1,6	2,3	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	6,4	7,1	8,7	10,1	
12	•	•	•	2,2	1,3	1,9	2,7	3,8	4,7	5,4	6,1	6,6	7,7	8,6	10,5	12,1	
13	•	•	•	2,3	1,4	2,1	2,9	4,2	5,1	5,9	6,6	7,2	8,3	9,3	11,4	13,2	
15	•	•	•	2,4	1,6	2,4	3,4	4,8	5,9	6,8	7,6	8,3	9,6	10,8	13,2	15,2	
17	•	•	•	2,6	1,8	2,7	3,9	5,5	6,7	7,7	8,6	9,5	10,9	12,2	15,0	17,3	
20	•	•	•	2,8	2,1	3,2	4,5	6,4	7,8	9,0	10,1	11,0	12,7	14,2	17,4	20,1	
30	•	•	•	3,6	3,2	4,8	6,8	9,6	11,7	13,5	15,1	16,5	19,1	21,4	26,2	30,2	
40	•	•	•	4,0	4,3	6,4	9,1	12,8	15,7	18,1	20,3	22,2	25,6	28,7	35,1	40,5	
50		•	•	4,4	5,3	8,0	11,3	15,9	19,5	22,5	25,2	27,6	31,8	35,6	43,6	50,3	
60		•	•	4,8	6,3	9,4	13,3	18,8	23,0	26,6	29,7	32,5	37,6	42,0	51,4	59,4	
62		•	•	5,0	6,7	10,0	14,1	20,0	24,5	28,3	31,6	34,6	40,0	44,7	54,8	63,3	
70		•	•	5,2	7,4	11,0	15,6	22,0	27,0	31,2	34,9	38,2	44,1	49,3	60,4	69,7	
80		•	•	5,4	8,5	12,7	17,9	25,3	31,0	35,8	40,0	43,8	50,6	56,6	69,3	80,0	
100			•	6,4	10,6	15,9	22,5	31,8	39,0	45,0	50,3	55,2	63,7	71,2	87,2	100,7	
120			•	7,0	12,6	18,8	26,6	37,6	46,0	53,1	59,4	65,1	75,1	84,0	102,9	118,8	

Далее, при использовании форсунок с диаметром 4,4 мм расход воды перфорированным рукавом составит:

$$Q_{\text{перф.рук}} = \frac{27,6 \cdot 14}{60} = 6,44 \text{ (л/с), при напоре на насосе 6 бар (атм.)},$$

$$Q_{\text{перф.рук}} = \frac{31,8 \cdot 14}{60} = 7,42 \text{ (л/с), при напоре на насосе 8 бар (атм.)}.$$

Проведем расчет потери напора в магистральной линии условным диаметром 50 мм от пожарной мотопомпы до перфорированного гибкого трубопровода.

$$H_{\text{мрл}} = N \cdot S_p \cdot Q_{\text{перф.рук}}^2, (\text{м.}),$$

где $H_{\text{мрл}}$ – потери напора в рукавах магистральной рукавной линии,

S_p – сопротивление одного напорного рукава длиной 20 м;

$Q_{\text{перф.рук}}$ – расход воды перфорированного трубопровода, л/с.

N – количество рукавов магистральной линии.

Так как в экспериментальных испытаниях были использованы различные длины магистральных линий, полученные данные внесены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные показатели потери напора в рукавах магистральной линии

Диаметр форсунки	$H_{\text{мрл}}$	Расстояние магистральной линии 60(м)	Расстояние магистральной линии 80(м)	Расстояние магистральной линии 100(м)
3,6 мм	при напоре на насосе 6 бар (атм.).	5,78 (м.)	7,71 (м.)	9,63 (м.)
	при напоре на насосе 8 бар (атм.).	7,75 (м.)	10,34 (м.)	12,92 (м.)
4,4 мм	при напоре на насосе 6 бар (атм.).	16,17 (м.)	21,56 (м.)	26,95 (м.)
	при напоре на насосе 8 бар (атм.).	21,47 (м.)	28,62 (м.)	35,78 (м.)

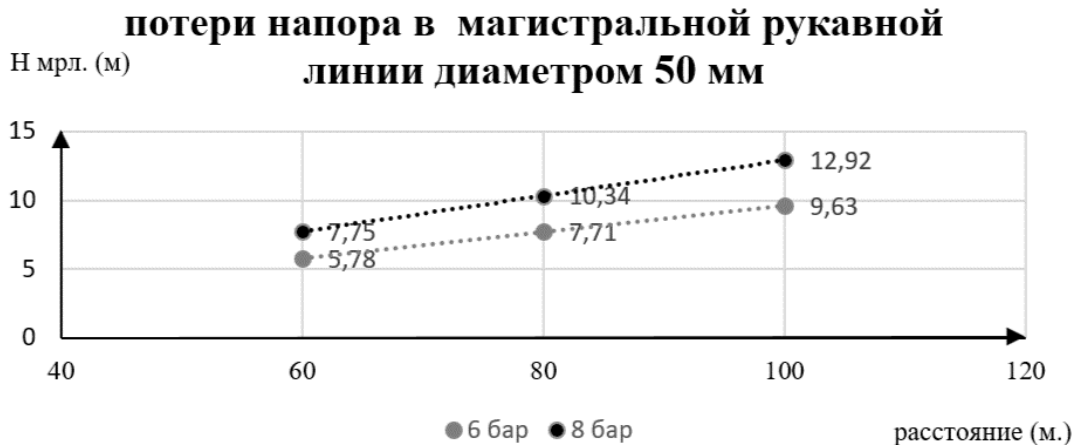


Рис. 8. График роста потерь напора в зависимости от расстояния магистральной линии для гибкого перфорированного трубопровода, с форсунками, диаметром 3.6 мм.

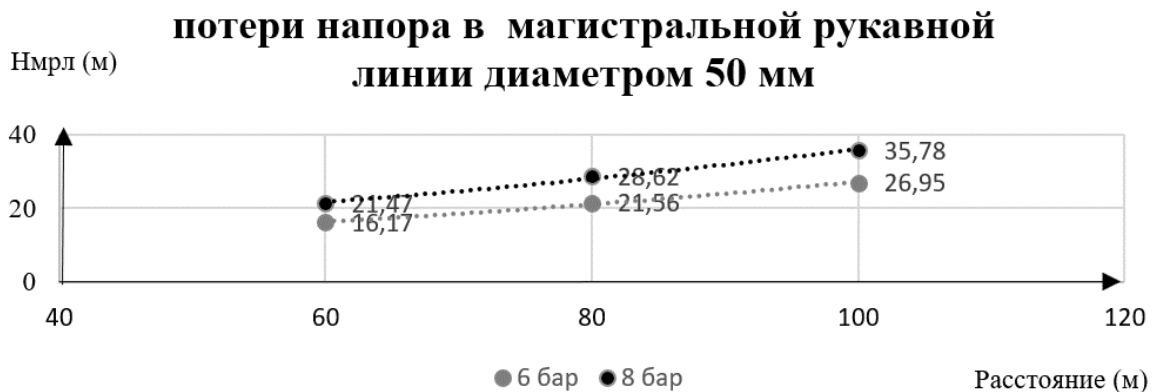


Рис. 9. График роста потерь напора в зависимости от расстояния магистральной линии для гибкого перфорированного трубопровода, с форсунками, диаметром 4.4 мм

На рис 8 и 9 отражены графики роста потерь напора в зависимости от длины магистральной линии и напора на насосе.

Вывод

В заключении необходимо отметить важность представленных разработок, направленных на повышение состояния пожарной безопасности сельских поселений Вьетнама, а также повышению тактических возможностей пожарных при борьбе с возникающими пожарами. Приведенные расчёты позволяют оценить

возможности пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров и их ограничению при применении гибких перфорированных трубопроводов с непрерывным расходом воды для создания водяных завес.

Стоит отметить, что разработанные прототипы перфорированных трубопроводов прошли первую апробацию в сельском поселении Вьетнама и могут применяться как противопожарные преграды для ограничения распространения огня.

Список источников

1. Чан Д. Ч., Фогилев И. С. Массовые пожары жилых сооружений в сельской местности Вьетнама // Современные проблемы обеспечения безопасности: сборник материалов XXVI Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. С. 114–119. EDN: PAAHXI.
2. Фогилев И. С., Чан Д. Ч. Влияние застройки сельских населенных пунктов Вьетнама на состояние пожарной безопасности поселений // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности: сборник трудов секции № 9 XXXIV Международной научно-практической конференции. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2024. С. 183–189. EDN: NGZYCA.
3. Чан Д. Ч., Фогилев И. С., Андросенко С. Г. К вопросу состояния дорожно-транспортной инфраструктуры в сельской местности провинции Вьетнама при реагировании пожарно-спасательных подразделений к месту вызова // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 5-ти частях. М: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 39–43. EDN: RGISZT.
4. Гидравлика: учебник / Ю. Г. Абросимов, В. В. Жучков, Е. Н. Болдырев [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 180 с.
5. Фогилев И. С., Чунг Ч. Д., Андросенко С. Г. К вопросу организации противопожарного водоснабжения во Вьетнаме // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IX Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 181–188. EDN: ICYBEG.
6. Фогилев И. С., Чан Д. Ч. К вопросу применения средств защиты пожарных Вьетнама при проведении спасательных операций и иных специальных работ на пожарах // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны в Год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях. Часть III. М.: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. С. 87–94. EDN: SWYINQ.

References

1. Tran D. Tr., Fogilev I. S. Massovye pozhary zhilyh sooruzhenij v sel'skoj mestnosti V'etnama [Mass fires of residential buildings in rural areas of Vietnam]. *Sovremennye problemy obespechenija bezopasnosti: sbornik materialov XXVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Ekaterinburg: Ural'skij institut Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii, 2024. Pp. 114–119. EDN: PAAHXI.
2. Fogilev I. S., Tran D. Tr. Vlijanie zastrojki sel'skih naselennyh punktov V'etnama na sostojanie pozharnoj bezopasnosti poselenij [The impact of the development of rural settlements of Vietnam on the state of fire safety of settlements]. *Aktual'nye problemy obespechenija pozharnoj bezopasnosti: sbornik trudov sekcii № 9 XXXIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Himki: Akademija grazhdanskoj zashhity MChS Rossii im. general-lejtenanta D. I. Mihajlika, 2024. Pp. 183–189. EDN: NGZYCA.
3. Tran D. Tr., Fogilev I. S., Androsenko S. G. K voprosu sostojanija dorozhno-transportnoj infrastruktury v sel'skoj mestnosti provincii V'etnama pri reagirovanii pozharnospasatel'nyh podrazdelenij k mestu vyzova [On the state of road and transport infrastructure in rural areas of the province of Vietnam during the response of fire and rescue units to the scene of a call]. *Grazhdanskaja oborona na strazhe mira i bezopasnosti: materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj Vsemirnomu dnju grazhdanskoj oborony*. V 5-ti chastjah. Moscow: Akademija Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby, 2024. Pp. 39–43. EDN: RGISZT.
4. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics] / Ju. G. Abrosimov, V. V. Zhuchkov, E. N. Boldyrev [et al.]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2017. 180 p.
5. Fogilev I. S., Trung Tr. D., Androsenko S. G. K voprosu organizacii protivopozharnogo vodosnabzhenija vo V'etname [On the issue of organizing fire-fighting water supply in Vietnam]. *Pozharotushenie: problemy, tehnologii, innovacii: materialy IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. V 2-h chastjah. Moscow: Akademija Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby, 2024. Pp. 181–188. EDN: ICYBEG.
6. Fogilev I. S., Tran D. Tr. K voprosu primenenija sredstv zashhity pozharnyh V'etnama pri provedenii spasatel'nyh operacij i inyh special'nyh rabot na pozharah [On the issue of using protective equipment for Vietnamese firefighters during rescue operations and other special work at fires]. *Grazhdanskaja oborona na strazhe mira i bezopasnosti: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konfe-rencii, posvjashhennoj Vsemirnomu dnju grazhdanskoj oborony v*

God 90-letija so dnja obrazovanja Akademii GPS MChS Rossii. V 5-ti chastjah, Chast' III. Moscow: Akademija Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam

grazhdanskoj oborony, chrezvyčajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, 2023. Pp. 87–94. EDN: SWYINQ.

Чан Дык Чунг

ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Адъюнкт 3 курса института подготовки иностранных граждан

Российская Федерация, г. Москва

E-mail: tranductrung56@gmail.com

Tran Duc Trung

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia»

3rd year adjunct at the Institute for Training of Foreign Citizens

Russian Federation, Moscow

E-mail: tranductrung56@gmail.com

УДК 669:620.19

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ СТАЛИ К СОПРОТИВЛЕНИЮ КОРРОЗИИ МЕТОДОМ МЕТАЛЛОГРАФИИ

А. Ф. ЧУДАКОВА, С. А. СЫРБУ, А. С. МИТРОФАНОВ, А. Г. АЗОВЦЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: fedorovna-2021@list.ru, syrbue@yandex.ru, mitart1992@mail.ru, asovtsev121@mail.ru

Воздействие соединений химически активной серы на сталь вызывает их коррозию, как поверхностную, так и глубинную. Одним из способов антикоррозионной защиты стали является нанесение композиционных покрытий на ее поверхность. Подобным способом может быть защищена внутренняя поверхность технологического оборудования, применяемого в нефтехимической отрасли.

В работе приведены результаты металлографических исследований коррозионного поражения образцов стали марки «СтЗсп» после экспонирования в лабораторной установке с содержанием 2 об.% сероводорода в течение 100 суток. Проведен сравнительный анализ коррозионных повреждений образцов без защитного покрытия и образцов, покрытых композиционным материалом на основе полимочевины с наполнителем – механической смесью угля и диоксида титана.

Установлено, что композиционное покрытие помимо защиты поверхности стали от образования пирофорных отложений, обеспечивает и антикоррозионную защиту, предотвращая распространение глубинной коррозии стали марки «СтЗсп».

Ключевые слова: сталь; микроструктура; сероводородная коррозия; пирофорные отложения; композиционные материалы; коррозионная стойкость.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE COMPOSITE COATING OF STEEL ON RESISTANCE CORROSION BY METALLOGRAPHY

A. F. CHUDAKOVA, S. A. SYRBU, A. S. MITROFANOV, A. G. ASOVTSEV

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: fedorovna-2021@list.ru, syrbue@yandex.ru, mitart1992@mail.ru, asovtsev121@mail.ru

The effect of chemically active sulfur compounds on steel causes their corrosion, both surface and deep. One of the ways to protect steel from corrosion is to apply composite coatings to its surface. In a similar way, the inner surface of technological equipment used in the petrochemical industry can be protected.

The paper presents the results of metallographic studies of the corrosion damage of steel samples of the St3sp brand after exposure in a laboratory installation with a content of 2 vol.% hydrogen sulfide for 100 days. A comparative analysis of corrosion damage of samples without a protective coating and samples coated with a composite material based on polyurea with a filler – a mechanical mixture of coal and titanium dioxide.

It was found that the composite coating, in addition to protecting the steel surface from the formation of pyrophoric deposits, also provides anticorrosive protection, preventing the spread of deep corrosion of steel grade «St3sp».

Keywords: steel; microstructure; hydrogen sulfide corrosion; pyrophoric deposits; composite materials; corrosion resistance.

Введение

Самовозгорание пиррофорных отложений является одной из причин возникновения пожаров и взрывов технологического оборудования с сернистой нефтью, основу которых составляют образующиеся сульфиды железа переменного состава с общей формулой Fe_xS_y . Их наличие на внутренней поверхности оборудования повышает риск возникновения пожара во время очистки оборудования для хранения нефти и нефтепродуктов.

В технологическом оборудовании, где осуществляется хранение или переработка продуктов, содержащих сероводород, органические сернистые соединения, происходит их взаимодействие с железом и продуктами его коррозии (оксидами и гидроксидами), в результате чего образуются сульфиды железа [1].

Сероводород представляет собой пожароопасное, высокотоксичное и коррозионно-агрессивное соединение с широким диапазоном воздействия на металлическое оборудование. Постоянные химические реакции в сероводородсодержащих средах повышают хрупкость металлов в нефтедобывающих установках, что приводит к коррозионному разрушению.

Сероводородная коррозия – это тип коррозии металлических материалов, вызванный присутствием сероводорода и других соединений химически активной серы, например, тиолов (меркаптанов), в окружающей среде. Сероводород проникает в металлическую структуру и приводит к разрушению металла, что может привести к потере прочности и долговечности. Она может вызвать деформацию и разрушение металлических конструкций, трубопроводов и оборудования. Если она не обнаруживается и не устраняется, то может потенциально привести к авариям, взрывам и потере человеческих жизней. Кроме того, сероводородная коррозия может вызвать утечку газов, что может привести к выходу из технологического оборудования токсических веществ и серьезным рискам здоровья для людей, а также повреждению окружающей среды.

В настоящее время для защиты оборудования используется множество антикоррозионных лакокрасочных покрытий. Тем не менее, ни одно из существующих покрытий не способно выполнять защитные функции внутренней поверхности резервуаров, содержащих сернистую нефть, в течение необходимого периода времени. Покрытия быстро разрушаются и процесс коррозии усиливается. Наиболее эффективные покрытия экономически невыгодны в использовании. При этом их использование не гарантирует полной защиты оборудования от коррозии и образования пиррофорных отложений.

Представляется, что одно из актуальных направлений в решении проблем коррозии связано с защитой поверхности металла какими-либо покрытиями. Эффективность покрытий значительно повышается за счет введения в базовую основу новых оригинальных добавок, которые синтезируются специально для этих целей. Необходимо подчеркнуть, что защитное действие покрытия реализуется посредством образования на поверхности металлического изделия сплошной пленки, которая предотвращает агрессивное воздействие окружающей среды и защищает металл от разрушения. Высокое качество пленки и ее хорошая адгезия обеспечиваются равномерным распределением покрытия по поверхности металла и упорядоченным расположением частиц наполнителя.

Улучшение качества защитных покрытий зависит не только от свойств отдельных компонентов, но и от состава покрытия в целом. Повышение качества модифицированных покрытий достигается за счёт создания структур с высокой адгезией к металлической поверхности [2].

Применение защитных покрытий способствует замедлению разрушительного процесса, тем самым позволив отодвинуть сроки ремонта, реконструкции или полной замены металлических изделий. Для наших исследований интересными представляются покрытия из композиционных материалов, которые препятствуют проникновению сероводорода и химически активных соединений серы к металлическим поверхностям и предотвращают процесс образования на них пиррофорных отложений. Уточнение цели связано с оценкой влияния защитного покрытия на основе органического связующего на коррозионную устойчивость конструкционной стали марки «СтЗсп» [2].

Цель работы — оценить влияние композиционного покрытия на устойчивость стали к поверхностной и глубинной коррозии методом металлографии.

Материалы

и методы исследования

Для достижения цели работы исследовались образцы конструкционной стали марки СтЗсп.

Сталь СтЗсп относится к углеродистым конструкционным сталям общего назначения. Благодаря однородному составу, сталь характеризуется сниженной хрупкостью и повышенной устойчивостью к агрессивному воздействию окружающей среды. Сталь имеет хорошую пластичность и легко подвергается механической обработке. Марка стали состоит из

трех частей и расшифровывается следующим образом:

- «Ст» – обозначение всех нелегированных углеродистых сталей обыкновенного качества;
- «З» – соответствует содержанию элемента в диапазоне от 0,14 до 0,22 %;
- «Сп» – указывает на спокойную степень раскисления.

Таким образом, СтЗсп представляет собой нелегированную конструкционную углеродистую сталь обыкновенного качества, спокойная. Эта сталь широко применяется в нефтяной, нефтехимической и нефтегазовой отраслях промышленности. Одной из ключевых характеристик СтЗсп является ее химический состав, в котором:

- углерод занимает 0,14–0,22 %;
- доля содержания марганца – 0,40–0,65 %;
- доля кремния – 0,15–0,30 %;
- никелевой, хромовой и медной составляющей – до 0,3 %
- содержание серы – не более 0,005 %;
- доля фосфора – 0,04 %;
- азота – менее 0,1 %.

Все остальное составляет железо (около 97 %).

Для проведения исследования были изготовлены 15 образцов стали размером 100×40×4 мм, из них 5 образцов были взяты в качестве эталона, 5 экспонировались в установке без покрытия и 5 образцов с нанесенным

композиционным покрытием. Подготовка образцов включала в себя ручную чистку с использованием абразивной шкурки, а также последовательное применение наждачной бумаги различной зернистости (P60, P100, R120) для очистки поверхности от жира путем обработки поверхностей растворителем марки «Растворитель универсальный № 1».

Определение массы образцов осуществляли на весах 1 класса точности с внутренней калибровкой. Наибольший предел взвешивания 52/120 г, дискретность 0,00001/0,0001 г. Погрешность измерения массы образцов не превышала 3 % (доверительный интервал 0,95).

Для приготовления матрицы защитной композиции в 100 масс. ч. полимочевины при непрерывном перемешивании вводили с помощью дозатора 70 масс. ч. растворителя Р-4 и необходимое количество наполнителя. В качестве наполнителя использовали механическую смесь, состоящую из 3 масс. ч. активированного угля марки БАУ-А и 1 масс. ч. диоксида титана [3].

Технология нанесения антикоррозионной защиты

В таблице представлена типовая технологическая схема процесса антикоррозионной защиты внутренней поверхности резервуаров в общем виде¹.

Таблица. Типовая технологическая схема процесса антикоррозионной защиты

Этапы	Процессы
Подготовка внутренней поверхности резервуара для осуществления мероприятий по антикоррозионной защите	<ul style="list-style-type: none"> • опорожнение резервуара; • удаление остатков нефти и парафиновых отложений из резервуара; • проведение диагностики; • осуществление текущего или капитального ремонта металлоконструкций и внутренней обвязки резервуара, в зависимости от результатов диагностики, при необходимости.
Подготовка металлической поверхности к процессу окрашивания	<ul style="list-style-type: none"> • обезжиривание участков; • абразивная очистка от окислов; • удаление абразивных частиц с обработанной поверхности; • обеспыливание.
Окраска	<ul style="list-style-type: none"> • подготовка лакокрасочного материала (ЛКМ); • нанесение ЛКМ; • контроль среды при проведении окрасочных работ; • контроль в процессе нанесения краски.
Отверждение каждого слоя покрытия	—
Контроль качества покрытия	• визуальный внешний вид;

¹ РД-05.00-45.21.30-КТН-005-1-05. Правила антикоррозионной защиты резервуаров. М., 2005.

Этапы	Процессы
	<ul style="list-style-type: none"> • толщина покрытия; • сплошность покрытия; • адгезия покрытия.
Устранение выявленных дефектов	—

Благодаря качественному выполнению всех этапов предписанной технологической схемы по антикоррозионной обработке внутренней поверхности резервуара, стальная конструкция не подвергается коррозии, особенно в агрессивных условиях окружающей среды, вызванных присутствием серо-водорода. Другими словами, покрытие предотвращает химические реакции между сталью и сероводородом и тем самым препятствует образованию продуктов реакции, склонных к самовозгоранию. В соответствии с руководящим документом, регламентирующим защиту РВС от коррозии, покрытие должно обеспечивать свою защитную функцию в течение длительного периода времени (не менее 10 лет). Несмотря на разнообразие антикоррозионных покрытий, в нефтяной промышленности [4–6] по-прежнему актуальна проблема предотвращения образования пиррофорных отложений на внутренней поверхности технологического оборудования, предназначенного для хранения нефти. Это

особенно важно для сортов нефти с высоким содержанием сернистых соединений [7].

Нанесение защитной композиции на образец производили методом окунания. Защитная композиция подвергалась сушке в естественных условиях на протяжении 10 дней (средняя температура составила 20 °С) при относительной влажности воздуха 55–60 %. Толщина нанесенного покрытия составляла 100–130 мкм.

Пластины взвешивались на аналитических весах с точностью $\pm 0,00001$ г, помещались в лабораторную установку и экспонировались в течение 100 дней (рис. 1). В лабораторной установке были симитированы условия паровоздушного пространства резервуара для хранения нефти. Пары нефти образовывались естественным образом в результате испарения нефти из емкости, расположенной в установке. Концентрация сероводорода доводилась до 2 % об. путем наполнения установки газом из внешнего источника.

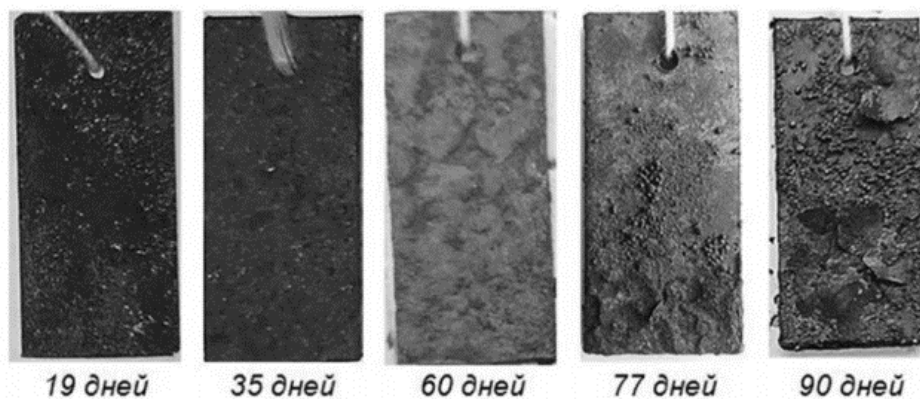


Рис. 1. Фотографии образцов стали после экспонирования в лабораторной установке

Коррозионным испытаниям предшествовали металлографические исследования микроструктуры образцов, позволившие судить о глубине коррозионного поражения от поверхности. Определение сравнительной коррозионной стойкости проводили на образцах с покрытием, где в качестве матрицы композитного состава использовалась полимочевина, а в качестве наполнителя применялась механическая смесь 1 масс. ч. диоксида титана и 3 масс. ч. активированного угля. Исследуемые образцы экспонировались в лабораторной

установке в течение 100 суток. После этого они были подвергнуты дальнейшей шлифовальной обработке.

Процесс подготовки шлифов

Традиционно процесс подготовки шлифов делится на 5 стадий: отрезание образца, запрессовывание, шлифование, полирование и травление.

На первой стадии подготовки зафиксировали вертикально образцы исследования.

На стадии запрессовывания образцов подготовили специальную разборную заготовку-форму из фторопласта (термостойкого пластика). Образцы помещали в форму так, чтобы они были вертикальны к поверхности. Для запрессовки образцов использовался двухосновный заливочный пластик, состоящий из двух компонентов: смолы основы и отвердителя. Эти компоненты смешивались в пропорции 10:6. Полученный полимерный раствор заливали в отверстия заготовки-формы. Для полного застывания пластика его выдерживали в теплом помещении в течение 7–15 мин. После застывания форма разделялась (рис. 2).

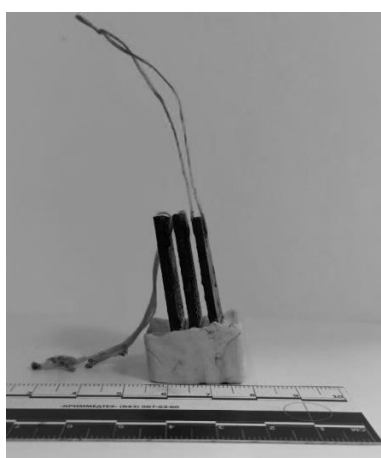


Рис. 2. Фотография образцов после запрессовывания

Раскрытие области исследования, шлифование и полирование проводилось на шлифовально-полировальном станке «ПОЛИЛАБ металлография» в водной среде. Для этого применялись абразивные круги на влагостойкой бумажной основе «SiC Paper» зернистостью P320, P800 и P1200, а также полировальное сукно и паста неабразивная 3М для блеска.

При смене абразивного круга (материала) образец тщательно промывался проточной водой. Угол воздействия на обрабатываемую поверхность в горизонтальной плоскости менялся на 90°. После полирования (окончательной механической обработки) шлиф тщательно промывался проточной водой, а затем просушивался с использованием фильтровальной бумаги, протирался тампоном, смоченным в этиловом спирте, и окончательно просушивался фильтровальной бумагой. В процессе абразивной обработки качество обрабатываемой поверхности контролировалось с помощью металлографического микроскопа «ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ-21». На рис. 3 представлена фотография образца стали после черного шлифования с помощью данного микроскопа.



Рис. 3. Фотография образца стали после черного шлифования под увеличением

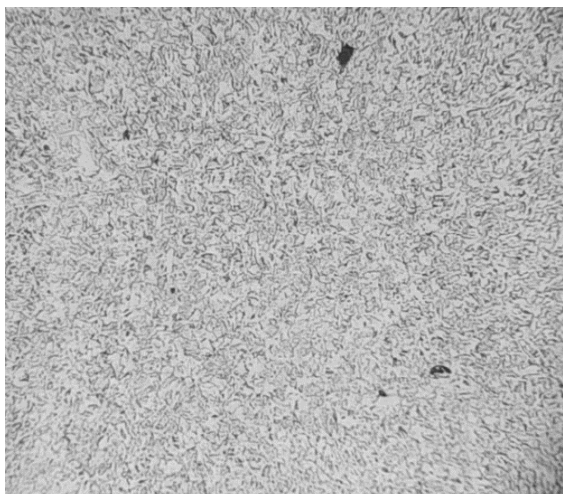
Стадия полировки завершалась этапом подготовки образца к травлению. Поэтому по окончании данной стадии поверхность образца должна иметь минимальное количество штрихов, царапин и прочих повреждений. Это позволило наиболее точно рассмотреть зерна металла после травления.

Травление проводится для выявления структуры металла. Этот процесс представляет собой окислительно-восстановительную реакцию, в которой травильный раствор, выступающий в роль окислителя, преобразует сталь из металлического состояния в ионное. Существует множество вариантов травильных растворов, но в нашем случае для выявления микроструктур металлов и сплавов применялся химический травитель: азотная кислота HNO_3 (плотность 1,42 г/см³) – 1 мл, этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – 20 мл.

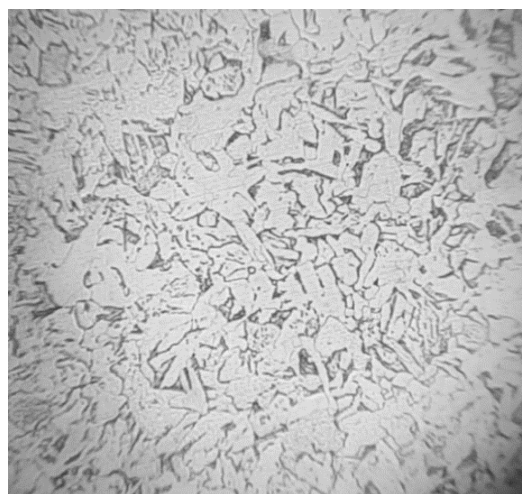
В ходе самого травления использовался ватный диск, пропитанный в травильном растворе и пинцет. Процесс заключался в обыкновенной протирке образца и дальнейшем промывании его под струей проточной воды. Травление позволило выявить мелкозернистую структуру стали.

Подготовленный металлографический шлиф был помещен на предметный столик металлографического микроскопа «ЛОМО ЕС МЕТАМ РВ-21». Изучение микроструктуры шлифа происходило по методу «светлопольного освещения» при увеличениях от 100^x.

В процессе изучения микрошлифа производилась фотофиксация микроструктуры. На рис. 4, а и б представлен общий вид протравленной поверхности, по которому можно судить о том, что исследуемая сталь обладает феррито-перлитной структурой.



а) фокусное расстояние $F=6,3$ мм



б) фокусное расстояние $F=4,0$ мм

Рис. 4. Фотография микроструктуры протравленного образца стали

Глубина коррозионного поражения металла определялась путём сравнительного анализа разницы толщины между участком поверхности, подвергшимся коррозии, и участком, не затронутым коррозией, либо путём непосредственного сравнения глубины коррозионного поражения от поверхности, которая

осталась неповреждённой или подверглась незначительному воздействию коррозии². Чтобы установить связь между глубиной коррозионных повреждений исследуемых образцов стали, сравнительный анализ проводился вблизи боковой поверхности образца.

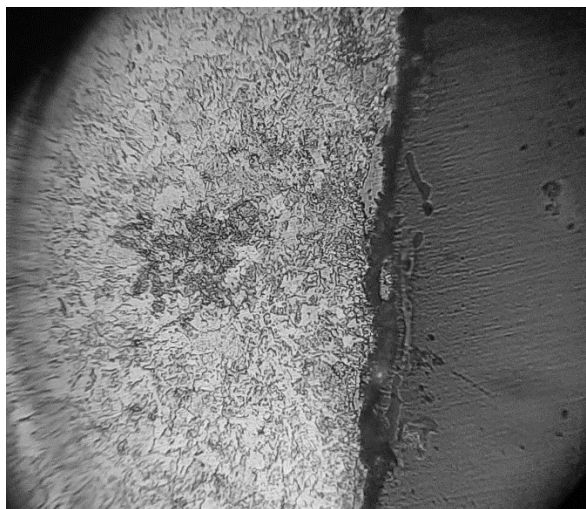


Рис. 5. Фотография микроструктуры исходного образца без покрытия и до экспонирования в лабораторной установке

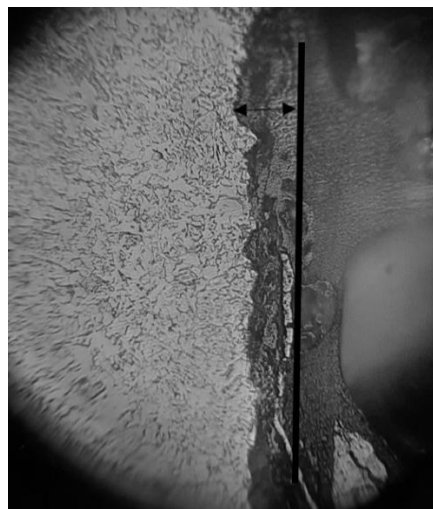


Рис. 6. Фотография микроструктуры образца стали без покрытия после экспонирования в лабораторной установке в течение 100 суток

²ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.

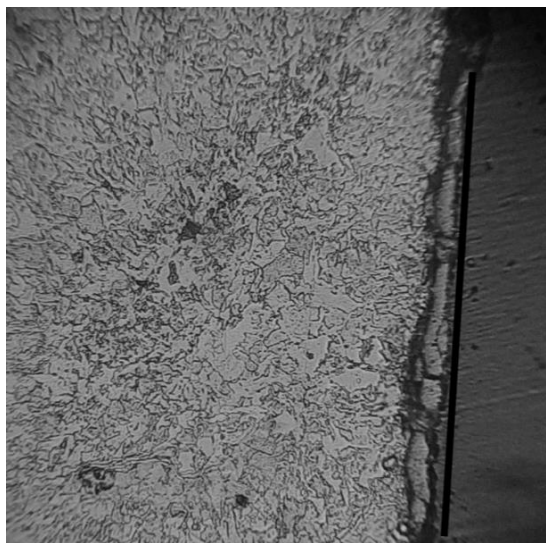


Рис. 7. Фотография микроструктуры образца стали после экспонирования в лабораторной установке в течение 100 суток и удаления защитного покрытия

На рис. 7 показана микроструктура поверхности образца стали, обработанной композиционным материалом на основе полимочевины с диоксидом титана и активированным углем, после экспонирования в лабораторной установке в течение 100 суток и удаления защитного покрытия. На макрофотографии поперечного сечения микрошлифа отчетливо видна полоса, представляющая собой коррозионно-устойчивый слой стали, образовавшийся в результате покрытия. Можно заметить, что область, обработанная композиционным материалом, не подверглась разрушению, в то время

как необработанная поверхность покрылась слоем коррозии. Это является наглядным подтверждением защитных свойств композиционного покрытия.

Заключение

Проведены металлографические исследования поверхности образцов из стали марки «СтЗсп», испытанных в течение 100 суток на общую коррозионную стойкость в лабораторной установке, где были симитированы условия паровоздушного пространства резервуара для хранения нефти. На основании проведенного исследования и анализа полноты наблюдаемых параметров (распространение коррозионных повреждений вглубь металла) можно утверждать, что после испытаний защитное покрытие не разрушено, очаги коррозии под покрытием отсутствуют.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что защитное покрытие, представляющее собой композиционный материал с полимочевинной матрицей и механической смесью угля и диоксида титана в качестве наполнителя, обладает защитным антикоррозионным свойством и предотвращает распространение глубинной коррозии образцов стали марки «СтЗсп». Таким образом, защита внутренней поверхности паровоздушного пространства технологического оборудования для хранения нефти с помощью нанесения композиционных материалов весьма перспективна, поскольку позволяет защитить поверхность стали не только от образования пиррофорных отложений, но и от глубинной коррозии.

Список литературы

1. Влияние состава атмосферы на самовозгорание пиррофорных отложений, образовавшихся в резервуарах с сернистой нефтью / А. С. Андросов, И. Р. Бегишев, А. К. Беликов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 11. С. 61–66.
2. Влияние защитного покрытия на основе органического связующего на коррозионную устойчивость стали / А. А. Яковлева, Е. А. Анциферов, Е. А. Гусева [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 4(31). С. 600–611.
3. Патент 2816080 С1 Российская Федерация МПК С09D 175/02, С23F 15/00. Композитный состав для защиты внутренней поверхности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов от образования пиррофорных отложений / С. А. Сырбу, А. Г. Азовцев, А. С. Митрофанов; опубл. 26.03.2024, Бюл. № 9.
4. Проблемы защиты от коррозии при эксплуатации трубопроводных систем и оборудования нефтегазовой отрасли / К. Н. Абдрахманова, И. А. Дягилев, Н. Х. Абдрахманов [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 3. С. 39–46.
5. Металлографические и коррозионные исследования металлических покрытий, напыляемых на сталь 12Х18Н9Т / Н. Н. Сергеев, М. В. Ушаков, А. Н. Сергеев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 7. С. 16–30.
6. Маслякова, А. А. Влияние легирования и термической обработки на прочность и коррозионную стойкость сталей Fe-Mn-Si в

СО₂-содержащих нефтепромысловых средах: дис. ... канд. техн. наук: 2.6.17. Самара, 2022. 124 с.

7. Агафонова Г. Л., Кожаева А. В. Опыт применения лакокрасочных материалов для противокоррозионной защиты нефтепромыслового оборудования ОАО АНК «Башнефть» // Коррозия территории НЕФТЕГАЗ. 2012. № 1 (21). С. 24–28.

References

1. Vliyanie sostava atmosfery na samovozgoranie pirofornyh otlozhenij, obrazovavshisya v rezervuarah s sernistoj neft'yu [The influence of atmospheric composition on spontaneous combustion of pyrophoric deposits formed in reservoirs with sulfurous oil] / A. S. Androsov, I. R. Begishev, A. K. Belikov [et al.]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2014, vol. 23, issue 11, pp. 61–66.

2. Vliyanie zashchitnogo pokrytiya na osnove organicheskogo svyazuyushchego na korroziionnyu ustojchivost' stali [The effect of a protective coating based on an organic binder on the corrosion resistance of steel] / A. A. Yakovleva, E. A. Antsiferov, E. A. Guseva [et al.]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*, 2019, issue 9, vol. 4 (31), pp. 600–611.

3. Syrбу S. A., Azovtsev A. G., Mitrofanov A. S. Kompozitnyj sostav dlya zashchity vnutrennej poverxnosti rezervuarov dlya xraneniya nefti i nefteproduktov ot obrazovaniya pirofornyx otlozhenij [Composite composition for protecting the inner surface of oil and petroleum products storage tanks from the formation of pyrophoric deposits], Patent 2816080 C1 Ros-

siyskaya Federatsiya IPC C09D 175/02, C23F 15/00, opubl. 26.03.2024, Byul. № 9.

4. Problemy zashchity ot korrozii pri ekspluatatsii truboprovodnyh sistem i oborudovaniya neftegazovoj otrasli [Problems of corrosion protection during operation of pipeline systems and equipment of the oil and gas industry] / K. N. Abdrakhmanova, I. A. Diaghilev, N. H. Abdrakhmanov [et al.]. *Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh sistem*, 2020, issue 3, pp. 39–46.

5. Metallograficheskie i korroziionny'e issledovaniya metallicheskih pokrytij, napylyaemyx na stal' 12X18H9T [Metallographic and corrosion studies of metal coatings sprayed on steel 12X18H9T] / N. N. Sergeev, M. V. Ushakov, A. N. Sergeev [et al.]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2019, issue 7, pp. 16–30.

6. Maslyakova A. A. Vliyanie legirovaniya i termicheskoy obrabotki na prochnost' i korroziionnyu stojkost' stalej Fe-Mn-Si v CO₂-soderzhashhix neftepromy'slovyx sredax. Diss. kand. tekhn. nauk [The effect of alloying and heat treatment on the strength and corrosion resistance of Fe-Mn-Si steels in CO₂-containing oilfield environments. Cand. tech. sci. diss.]. Samara, 2022. 124 p.

7. Agafonova G. L., Kozhaeva A. V. Opyt primeneniya lakokrasochnyh materialov dlya protivokorroziionnoj zashchity neftepromy'slovogo oborudovaniya ОАО АНК «Башнефть» [The experience of using paint and varnish materials for anticorrosive protection of oilfield equipment of JSC ANK Bashneft]. *Korroziya territorii NEFTEGAZ*, 2012, vol. 1 (21), pp. 24–28.

Чудакова Анастасия Федоровна

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

E-mail: fedorovna-2021@list.ru

Chudakova Anastasia Fedorovna

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

E-mail: fedorovna-2021@list.ru

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин
доктор химических наук, профессор

E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrbu Svetlana 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
Head of the Department of Natural Sciences
Doctor of chemical sciences, professor
E-mail: syrbue@yandex.ru

Митрофанов Артур Сергеевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук
E-mail: mitart1992@mail.ru

Mitrofanov Artur Sergeevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Candidate of technical sciences
E-mail: mitart1992@mail.ru

Азовцев Александр Григорьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук
E-mail: asovtsev121@mail.ru

Azovtsev Aleksandr Grigor'evich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Candidate of technical sciences
E-mail: asovtsev121@mail.ru

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

УДК 699.814

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
ПО ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

С. Н. НАКОНЕЧНЫЙ, А. Г. АЗОВЦЕВ

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

Одним из основных вопросов, который в достаточной мере не определен нормативной, технической или научной литературой в области изучения огнестойкости зданий и сооружений, является вопрос определения характерных предельных состояний по огнестойкости для строительных конструкций, применяемых при строительстве объектов различного функционального назначения. Наличие в федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» таблицы соответствия степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков не разъясняет принципа определения у той или иной конструкций потери несущей способности, целостности или теплоизолирующей способности. Есть даже неточности, связанные с отождествлением совершенно разных по конструктивному исполнению строительных конструкций. Данная статья представляет собой попытку облегчения определения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций путем рассмотрения их назначения, местоположения в здании или сооружении и конструктивного исполнения.

Ключевые слова: строительная конструкция, огнестойкость, предельное состояние, стандартный температурный режим.

**ON THE ISSUE OF DETERMINING LIMIT STATES
FOR FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES**

S. N. NAKONECHNY, A. G. AZOVITSEV

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

One of the main issues, which is not sufficiently defined by the regulatory, technical or scientific literature in the field of studying the fire resistance of buildings and structures, is the issue of determining the characteristic limit states for fire resistance for building structures used in the construction of objects for various functional purposes. The presence in the Federal Law of July 22, 2008 N 123-FZ «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» of a table of correspondence between the degree of fire resistance and the fire resistance limit of building structures of buildings, structures and fire compartments (Table 21 of the Appendix) [1] does not explain the principle of having of one or another structure loss of load-bearing capacity, integrity or thermal insulation capacity. There are even inaccuracies associated with the identification of building structures that are completely different in design. This article is an attempt to facilitate the determination of fire resistance limit states of building structures by considering their purpose, location in a building or structure and design.

Key words: building structure, fire resistance, limit state, standard temperature conditions.

Анализ конкретных требований нормативных документов по пожарной безопасности позволяет лучше понять систему обеспечения пожарной безопасности объекта защиты, осуществлять ее совершенствование за счет подробного разложения информации, а также более качественно проводить занятия для последующего обучения специалистов пожарной безопасности. Похожие вопросы возникали у многих исследователей: расчетно-аналитические способы определения предела огнестойкости строительных конструкций [2], их автоматизация [1]. В настоящее время отсутствие принципов определения предельного состояния по огнестойкости строительных конструкций не позволяет в должной степени определить их предельные состояния, а требования Технического регламента¹ о требованиях пожарной безопасности вносят дополнительные сложности, указывая только необходимые признаки. Цель данной работы является составление схемы и алгоритма определения предельного состояния по огнестойкости строительных конструкций.

В государственном стандарте² представлены основные виды предельных состояний строительных конструкций по огнестойкости:

1) потеря несущей способности (R) (обрушение, возникновение предельных деформаций конструкций);

2) потеря целостности (E) (появление сквозных отверстий, трещин, через которые проникают пламя или продукты горения);

3) потеря теплоизолирующей способности (I) (достижение предельной температуры конструкции на необогреваемой поверхности).

Несмотря на наличие в ГОСТ 30247.1-94³ характерных предельных состояний для некоторых несущих и ограждающих строительных конструкций, остается неясным принцип определения предельных состояний для конкретной строительной конструкции. Так в государственном стандарте³ указано, что характерными предельными состояниями по огнестойкости для колонн, балок, ферм, арок и рам является только потеря несущей способности (R); для наружных несущих стен и покрытий – потеря несущей способности (R) и целостности (E); для наружных ненесущих стен – потеря

целостности (E); для ненесущих внутренних стен и перегородок – потеря целостности и потеря теплоизолирующей способности (E, I); для несущих внутренних стен и противопожарных преград – потеря несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности – R, E, I.

Как видно, в ГОСТе³ прописаны характерные предельные состояния не для всех строительных конструкций. Так, например, для конструкций перекрытий их можно определить только исходя из таблицы 21¹. Но и в данной таблице легко запутаться. Например, несущие стены, колонны и другие несущие элементы сведены в один столбец и указывают на наличие только предельного состояния по огнестойкости R (потере несущей способности), что входит в противоречие с указанными ранее в ГОСТе характерными предельными состояниями.

Потому как при обучении, так и в практической деятельности могут возникать вопросы соотношения рассматриваемых строительных конструкций и характеризующих их предельных состояний по огнестойкости. Кажется очевидным, что решение данной проблемы сводится к исследованию конструкции и поэтапному решению задачи соответствия назначения, местоположения в здании или сооружении и конструктивного исполнения принятым основным предельным состояниям R, E и I.

При определении предельных состояний по огнестойкости нами предлагается изучить рассматриваемую строительную конструкцию, ответив на три вопроса:

1) «Несущая или ненесущая (ограждающая)?»



Рис. 1. Здание с несущими элементами каркаса и внешними ненесущими стенами

¹ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

² ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.

³ ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.

Какое основное функциональное назначение строительной конструкции? Естественно, строительные конструкции в зданиях и сооружениях могут выполнять несколько функций, но если рассматриваемая конструкция несущая или самонесущая (несущие стены, колонны, балки, плиты перекрытий и покрытий, фермы, арки и т.д.), то характерным предельным состоянием по огнестойкости будет потеря несущей способности (R). Ненесущая (выполняющая ограждающие функции – ненесущие наружные и внутренние стены, перегородки) строительная конструкция потерей несущей способности не характеризуется, так как не участвует в распределении нагрузки и несущей способностью не обладает (рис. 1).



2) «Плоскостная или стержневая?»

Какие особенности конструктивного исполнения строительной конструкции?

Плоскостные конструкции (несущие и ненесущие наружные и внутренние стены, плиты покрытий и перекрытий, перегородки), конструктивно представляющие собой плоскость, к которой может быть приложена нагрузка (для несущих строительных конструкций) характеризуются потерей целостности (E), что приводит к образованию сквозных отверстий и трещин в ходе термического воздействия. Стержневые конструкции, представляющие собой соединенные прямолинейные или криволинейные стержни (балки, фермы, арки, рамы, колонны) потерей целостности не характеризуются ввиду невозможности образования сквозных трещин до потери несущей способности (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид плоскостной (плиты перекрытия) и стержневой (колонны) строительной конструкции

3) «Внутренняя или наружная плоскостная конструкция?».

Какое местоположение в здании занимает рассматриваемая плоскостная строительная конструкция? Если она относится к внутренним (внутренние несущие и ненесущие стены, плиты перекрытий, перегородки), то характерным предельным состоянием по огнестойкости будет потеря теплоизолирующей способности, рассматривающая распространение пожара в помещениях внутри здания вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных для данной конструкции значений. Это может способствовать развитию пожара из-за самовоспламенения отделочных строительных материалов без непосредственного огневого воздействия. Внешние плоскостные строительные конструкции (наружные несущие

и ненесущие стены, плиты покрытий) из-за своего местоположения не могут приводить к развитию пожара внутри здания, потому данным предельным состоянием не характеризуются (рис. 3).

Имеются дополнительные предельные состояния по огнестойкости у противопожарных преград: потеря теплоизолирующей способности по достижению предельной величины теплового потока (W) (применяется для светопрозрачных конструкций) и дымогазопроницаемость (S) (применяется для заполнения проемов в противопожарных преградах)⁴.

⁴ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

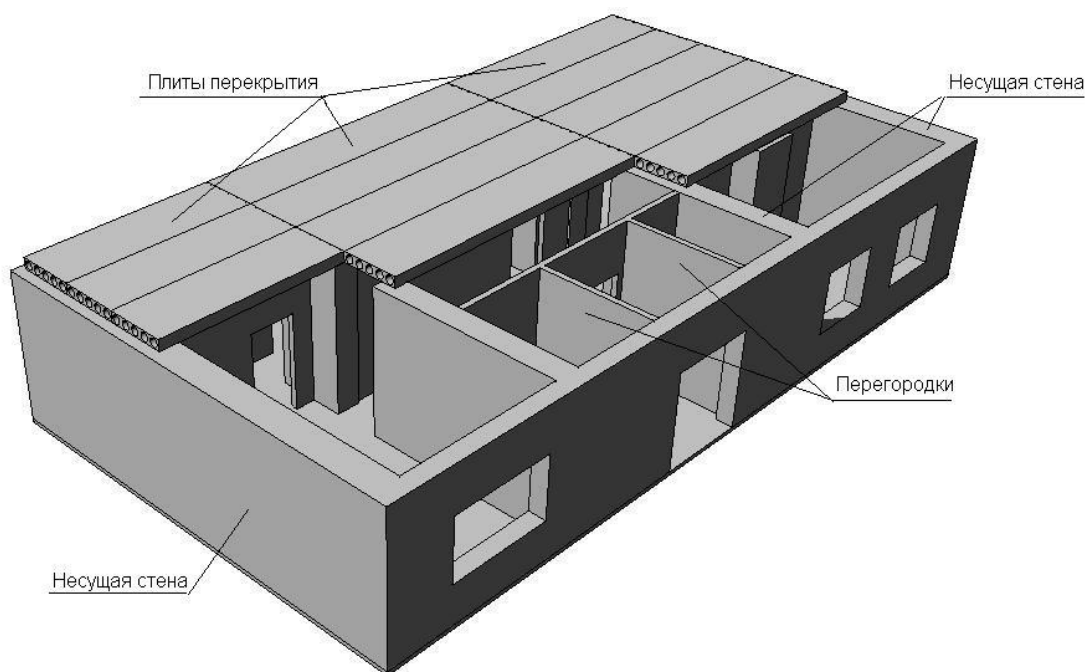


Рис. 3. Общий вид внутренней (несущие стены, перегородки, плиты перекрытия) и внешней (несущие стены) плоскостной строительной конструкции в составе здания



Рис. 4. Схема определения предельных состояний для строительной конструкции

Обобщая вышесказанное, на рис. 4 представлена общая схема определения предельных состояний для строительных конструкций. К примеру, необходимо определить характерные предельные состояния по огнестойкости для железобетонной плиты перекрытия. Потому следует ответить на три поставленных вопроса:

- 1) Несущая или ненесущая (ограждающая)? – несущая, характерна потеря несущей способности.
- 2) Плоскостная или стержневая? – плоскостная, характерна потеря целостности.
- 3) Внутренняя или наружная плоскостная конструкция? – внутренняя плоскостная конструкция, характерна потеря теплоизолирующей способности.

Таким образом, предельные состояния по огнестойкости для плит перекрытий – R (потеря несущей способности), E (потеря целостности) и I (потеря теплоизолирующей способности), что находится в соответствии с таблицей 21⁴.

Из общей схемы определения предельных состояний для строительной конструкции можно выделить алгоритм определения предельных состояний для строительной конструкции. Представить такой алгоритм можно в виде блок-схемы (рис. 5).

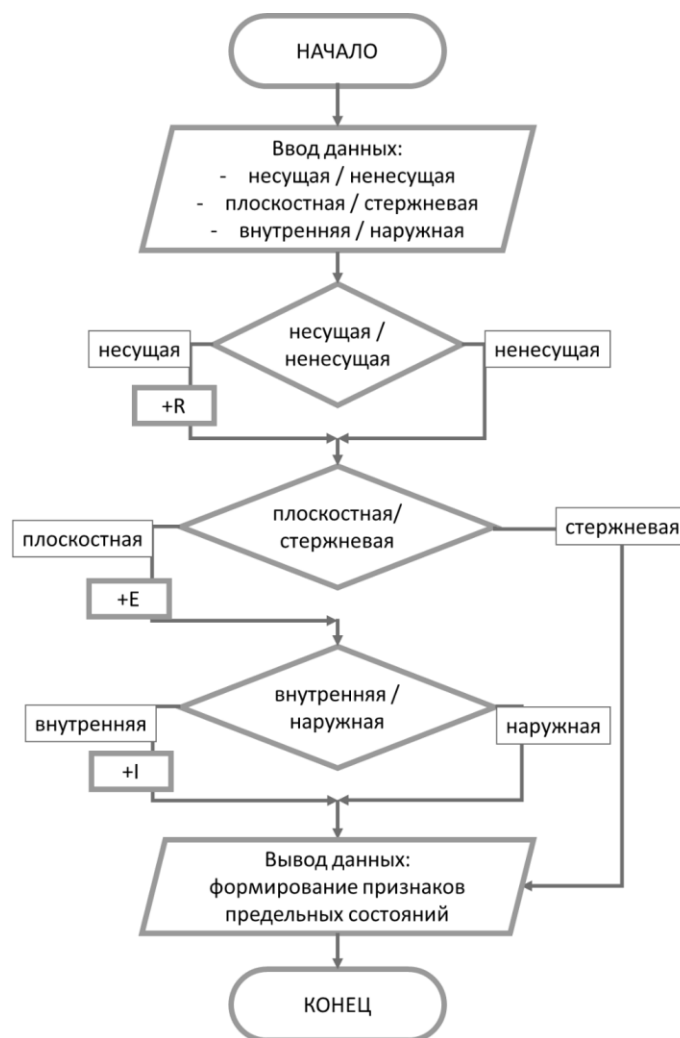


Рис. 5. Алгоритм определения предельных состояний для строительной конструкции

При применении схемы (рис. 4) или алгоритма (рис. 5) можно с достаточной уверенностью говорить о применении тех или иных признаков предельных состояний, которые можно применять для строительных конструкций.

Данный метод определения характерных предельных состояний для строительных конструкций может быть рекомендован для использования при учебном процессе.

Список литературы

1. Гогоберидзе Н. В., Благородова Н. В. К вопросу автоматизации системы определения предела огнестойкости строительных кон-

струкций // ИВД. 2012. № 4-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-avtomatizatsii-sistemy-opredeleniya-predela-ognestoykosti-stroitelnyh-konstruktsiy>.

2. Оценка огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций / О.А. Мокроусова, М.И. Смольников, А.К. Люфт [и др.] // Ройтмановские чтения: сборник материалов 10-ой научно-практической конферен-

⁴ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

ции. М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. С. 50–52. EDN: JVSTKP.

References

1. Gogoberidze N.V., Blagorodova N. V. *K voprosu avtomatizatsii sistemy opredeleniya predela ognestoykosti stroitel'nykh konstruktsiy* [On the issue of automation of the system for determining the fire resistance limit of building structures] // IVD, 2012. № 4-1. URL: <https://cyber>

leninka.ru/article/n/k-voprosu-avtomatizatsii-sistemy-opredeleniya-predela-ognestoykosti-stroitelnyh-konstruktsiy

2. Otsenka ognestoykosti i pozharной opasnosti stroitel'nykh konstruktsiy [Assessment of fire resistance and fire hazard of building structures] / O. A. Mokrousova, M. I. Smol'nikov, A. K. Lyuft [et al.]. *Rojtmanovskie chteniya: sbornik materialov 10-oj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Moscow: Akademiya Gosudarstvennoy protivopozharной sluzhby` MChS Rossii, 2022. Pp. 50–52. EDN: JVSTKP.

Наконецный Сергей Николаевич

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

E-mail: serny@mail.ru

Nakonechnyy Sergey Nikolaevich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences

E-mail: serny@mail.ru

Азовцев Александр Григорьевич

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

E-mail: asovtsev121@mail.ru

Azovtsev Aleksandr Grigor'evich

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of technical sciences

E-mail: asovtsev121@mail.ru

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

УДК 69.05

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ**

О. А. МАЛЫГИНА, В. В. ЗАСЬКО

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»,
Российская Федерация, г. Луганск

E-mail: oksalita@mail.ru, vizasko@yandex.ru

В данной статье представлены результаты имитационного моделирования тепло-влажностного состояния ограждающих конструкций в нестационарном режиме эксплуатации на примере фрагмента стены реконструированного жилого дома г. Луганска. Полученные физико-механические параметры материалов и коэффициентов переменных реализованы в программном комплексе COMSOL Multiphysics.

Выявлено, что созданная имитационная модель позволяет учитывать совместное влияние тепла и влаги на элементы конструкций существующих зданий. Установлено, что по достижению определенного периода времени в зависимости от применяемого утеплителя нестационарный процесс тепло-влажностного переноса переходит в стационарный. Для уменьшения влияния влаги рассмотрен вариант применения защитного барьера в конструкции стены.

Ключевые слова: тепло-влажностный режим; COMSOL Multiphysics, современные утеплители, теплозащита зданий, тепловая изоляция, тепловые потери.

**SIMULATION MODELING OF THE THERMAL AND MOISTURE STATE
OF BUILDING ENCLOSING STRUCTURES IN A NON-STATIONARY MODE**

O. A. MALYGINA, V. V. ZASKO

Lugansk State University named after Vladimir Dahl,
Russian Federation, Lugansk

E-mail: oksalita@mail.ru, vizasko@yandex.ru

This article presents the results of simulation modeling of the heat and humidity state of enclosing structures in non-stationary operation mode using the example of a fragment of the wall of a reconstructed residential building in Lugansk. The obtained physical and mechanical parameters of materials and coefficients of variables are implemented in the COMSOL Multiphysics software package.

It is revealed that the created simulation model allows to take into account the combined effect of heat and moisture on structural elements of existing buildings. It has been established that with a large time range, the non-stationary heat and moisture transfer process turns into a stationary one. To reduce the influence of moisture, the option of using a protective barrier in the wall structure is considered.

Keywords: heat and humidity regime; COMSOL Multiphysics, modern insulation materials, thermal protection of buildings, thermal insulation, heat losses.

Введение

В Луганской Народной Республике практически все здания жилого и гражданского назначения были построены по типовым проектам, согласно нормам проектирования, действующих на всей территории бывшего Совет-

ского Союза. В настоящее время, вследствие изменения нормативных требований по тепловой защите зданий и сооружений, выполняется утепление фасадов, ремонт или реконструкция помещений для обеспечения комфортного проживания людей. Практика применения технологий обслуживания таких объектов жилищно-коммунального хозяйства продемонстриро-

вала их значительный потенциал для осуществления модернизации существующих зданий при относительно невысоких затратах времени и ресурсов. Поэтому данные технологии будут востребованы и в перспективе.

Исходя из этого, уже сейчас необходимы теоретические разработки и обоснования по оптимизации технологий обеспечения комфортного теплового режима в помещениях данной категории зданий. Решение подобных задач осложняется значительными климатическими различиями в регионах страны и неопределенностью в прогнозировании их изменчивости, особенно в последние годы. Для малоэтажных зданий эти решения считаются более распространёнными и доработанными для конкретных регионов, а для современных и построенных ранее многоэтажных зданий представляют собой иную проблему [1–10].

При планировании ремонтных и реконструкционных работ в жилищном фонде возникает интерес к предварительному моделированию возможных результатов и оперативному получению необходимой информации. Для современных строительных объектов широко используется технология информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM), позволяющая создавать «цифровые копии» со структурированной и обновляемой информацией в реальном времени. Эта модель применяется не только на этапе проектирования и строительства зданий, но и в процессе эксплуатации. Особенно важно использование BIM для служб жилищно-коммунального хозяйства, так как они тесно связаны с технологиями моделирования энергопотребления здания (Building Energy Modeling, BEM), отражающими основные параметры энергоэффективности здания, включая энергопотребление в определенный период времени. Улучшение энергосбережения зданий в процессе эксплуатации непременно скажется на точности моделирования эффективности их работы в целом [1,5].

При разработке технологий энергосбережения для зданий следует учитывать характеристики теплообменных процессов внутри стен при изменении окружающей среды. Зная свойства паровоздушной смеси в стенах здания, возможные зоны конденсации или образования льда, а также выбрав подходящий материал и метод утепления, можно предотвратить образование сырости и плесени, увеличить срок службы здания, обеспечить ком-

фортный микроклимат внутри помещений и снизить расходы на эксплуатацию.

Цель исследования – создание имитационной модели совместного переноса тепла и влаги через ограждающую конструкцию и определение характеристик энергозащищенности в зависимости от условий эксплуатации при нестационарном режиме работы ограждающей конструкции.

Материалы

и методы исследований

В рассматриваемой модели исследуется недостаточно изученная проблема одновременного влияния тепла и влажности на функционирование ограждающей многослойной конструкции, состоящей из внутреннего слоя штукатурки, существующей стены здания, слоя теплоизоляции, разделяющего стену здания и холодную внешнюю среду, а также внешнего защитного отделочного слоя в виде керамогранитных плит, кассет, сайдинга или декоративной штукатурки. Данная модель представляет собой отдельный строительный блок, соответствующий структуре теплового моста. Теплозащита типового здания формируется из определенного комплекта аналогичных элементов на фасаде здания при его модернизации или ремонте.

При решении задач теплопроводности необходимо учитывать требования к программам, которые используются для расчёта температурных полей и тепловых потоков через конструкции. Эти требования описываются в европейском стандарте¹. Моделирование тепловых мостов в строительстве включает серию тестовых исследований для проверки численных методов. Программное обеспечение COMSOL Multiphysics успешно проходит тестовые испытания, описанные в стандарте, с созданием точных моделей узлов, генерацией расчётной сетки и достижением заданной точности результатов.

Предложенная методика определения тепло и влажностного состояния ограждающих конструкций, основывается на законе теплопроводности Фурье и на законах диффузии пара и влагопроводности в капиллярно-пористых средах.

¹ ISO 10211:2017. Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations. European Committee for Standardization.

Согласно ей, количество сорбируемой материалом i -того слоя влаги определяется из выражения:

$$W_{Si} = A_1\varphi_i + A_2\varphi_i^2 + A_3\varphi_i^3, \quad (1)$$

где A_1, A_2, A_3 – коэффициенты переменной, полученные по изотермам сорбции.

Значение относительной влажности в сечении i -того слоя в момент времени t определяли по формуле:

$$\varphi_i = \varphi_i^{(t-1)} + \frac{G_{in1} - G_{out1} + g_{in1} - g_{out1}}{A_1 + 2A_1\varphi_i + 3A_1\varphi_i^2}, \quad (2)$$

где $\varphi_i^{(t-1)}$ – относительная влажность в сечении i -го слоя на предыдущем времени расчета в момент времени $(t-1)$.

Температура i -го слоя в момент времени t запишется в виде:

$$T_i^t = T_i^{t-1} + \frac{Q_i - Q_{i+1}}{C_i\rho_i\delta_i}. \quad (3)$$

Эта температура определяет значение давления насыщенных паров в сечении слоя P_{in} :

$$P_{н.п.i} = 0,0215T_i^3 + 1,70T_i^2 + 48,08T_i + 613 \quad (4)$$

Относительная влажность на слое φ_i , полученная из (2) определяет значение парциального давления в сечении слоя P_i :

$$P_i = \varphi_i P_{н} = \varphi_i(0,0215T_i^3 + 1,70T_i^2 + 48,08T_i + 613) \quad (5)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Реализация предложенной модели для расчёта тепло- и влагопереноса в ограждающих конструкциях, выполнена с применением средств и функций пакета программ COMSOL Multiphysics 6.2. Определение тепловых потерь выполнялось с использованием следующих исходных данных:

– температура воздуха внутри помещения $T_{in} = 21^\circ \text{C}$;

– относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_{in} = 72\%$;

– температура и относительная влажность наружного воздуха для города Луганска, согласно нормам², применяется при изменяющихся значениях φ_{out} (по табл. 1) и T_{out} (по табл. 2).

Схема ограждающей конструкции представлена на рис. 1.

Для расчёта приняты значения физико-технических параметров материальных слоев наружной ограждающей конструкции, полученные экспериментальным путём (табл. 3).

С помощью пакета программ COMSOL Multiphysics 6.2. была создана имитационная модель ограждающей конструкции. При помощи интерфейсов Heat Transfer in Building Materials и Moisture Transport in Building Materials [10] был смоделирован совместный перенос тепла и влаги через ограждающую конструкцию. При этом перенос влаги осуществлялся капиллярными силами, а перенос пара – с помощью диффузии.

Результатом проведенного компьютерного моделирования являются характеристики энергозащищенности в зависимости от условий эксплуатации, полученные при одновременном действии тепла и влаги внутри стены при нестационарном режиме работы ограждающей конструкции.

Таблица 1. Средняя температура наружного воздуха по месяцам для города Луганска

Средняя по месяцам температура наружного воздуха, °C по месяцам											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-6.6	-6	-0.4	8.6	16.1	19.7	22.3	21	15	8.1	1.4	-3.8

Таблица 2. Относительная влажность воздуха по месяцам для города Луганска

Средняя относительная влажность наружного воздуха, % по месяцам											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
86	85	82	66	56	57	55	56	61	75	84	87

² СНиП 2.01.01.82 «Строительная климатология и геофизика» / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 136 с.

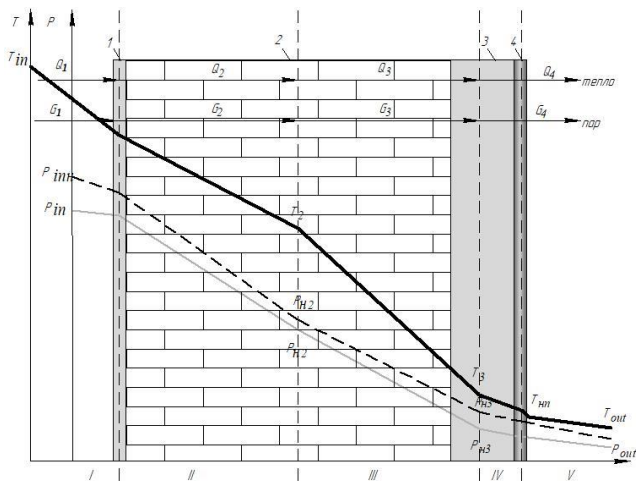


Рис. 1. Схема ограждающей конструкции
 1 – штукатурный слой известковой штукатурки,
 2 – кирпичная стена,
 3 – теплоизоляционный материал,
 4 – облицовочный слой (штукатурка)

Таблица 3. Физико-технические параметры материальных слоев наружной ограждающей конструкции

№	Параметры	Внутренняя штукатурка (цементно-песчаный раствор)	Кирпичная кладка	Пеноплекс КОМФОРТ	Внешняя штукатурка (цементно-песчаный раствор)
1.	Толщина слоя, м	0.02	0.51	0.10	0.02
2.	Плотность, кг / м ³	1800	1800	30	1800
3.	Теплоемкость, кДж / (кг · °С)	0.84	0.88	1	0.84
4.	Коэффициент теплопроводности, Вт / (м · °С) – в сухом состоянии – во влажном состоянии	0.76 0.93	0.7 0.81	0.034 0.0348	0.76 0.93
5.	Коэффициент паропроницаемости, мг / (м · ч · Па)	0.09	0.1	0.013	0.09
6.	Коэффициент теплообмена поверхности ограждения – с внутренним воздухом, Вт / (м ² · °С) – с наружным воздухом, Вт / (м ² · °С)	8.7 23.0			
7.	Коэффициенты переменной A1 A2 A3 B0 B1	0.0121 -0.0178 0.0158 0.0099 0.0062	0.0123 -0.0180 0.0161 0.0238 0.0199	0.0245 -0.0320 0.0260 0.000157 -0.000198	0.0121 -0.0178 0.0158 0.0099 0.0062

Фрагмент ограждающей конструкции стены, смоделированный в программном обеспечении COMSOL Multiphysics 6.2, представлен на рис. 2. Данная модель состоит из

4-х слоев, характеристики которых заданы в табл. 3.

Граничными условиями является температура внутри и снаружи конструкции.

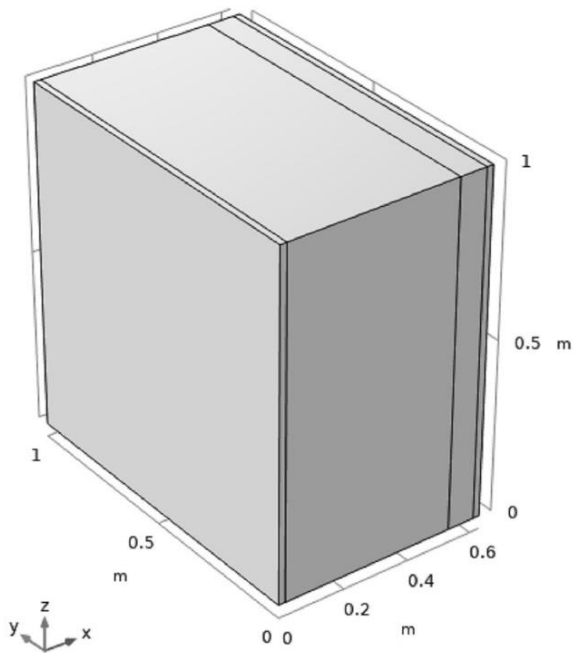


Рис. 2. Модель ограждающей конструкции

Результаты расчёта температурного поля в сечении ограждающей конструкции в годичном цикле эксплуатации представлены на рис. 3.

Как видно из графика (рис. 3), температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в течении всего времени эксперимента колеблется в пределах $(18.64 \div 22.55) \text{ }^\circ\text{C}$. Перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности исследуемой конструкции составляет $(1.55 \div 2.56) \text{ }^\circ\text{C}$, что не превышает предельное нормативное значение. Это означает, что соблюдаются условия не выпадения конденсата на внутренней поверхности конструкции. Температура в сечении первого и второго слоя не опускается ниже нормативной температуры точки росы ($11,2 \text{ }^\circ\text{C}$), что означает, что конденсат может образоваться только на границе второго слоя с третьим слоем. Температура в сечении третьего (теплоизоляционного) слоя в период (ноябрь-март) находится ниже точки росы, что означает возможность выпадения и накопления в третьем слое (утеплитель) конденсационной влаги.

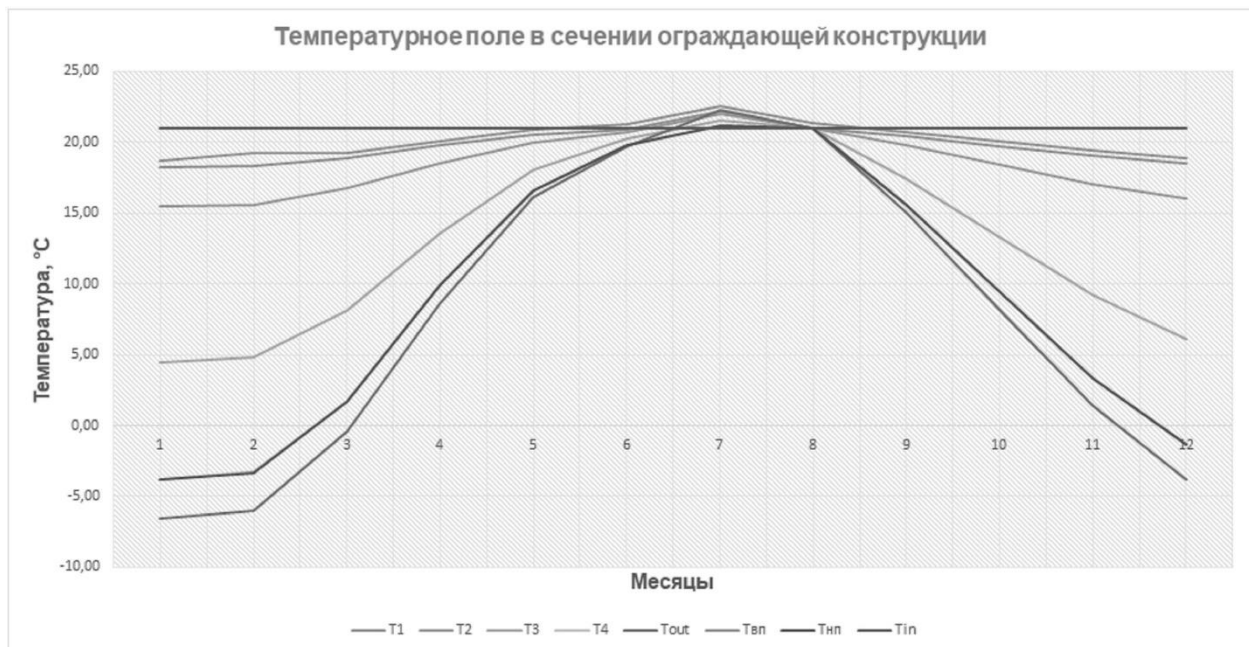


Рис. 3. Графики температурного поля в сечении ограждающей конструкции в годичном цикле эксплуатации

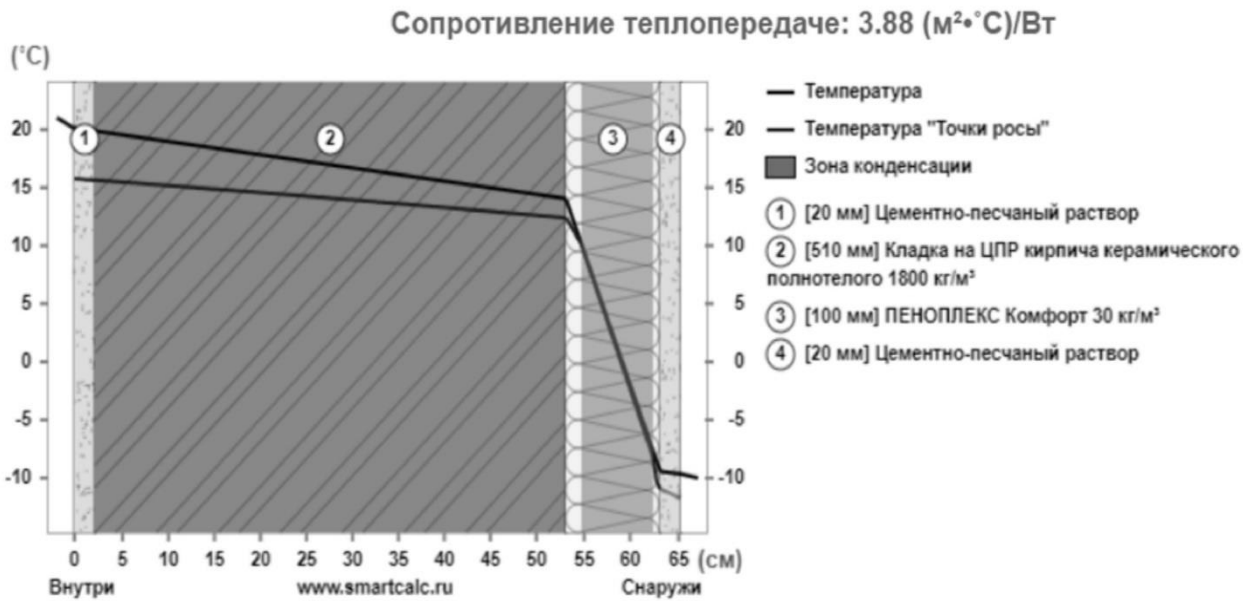


Рис. 4. Результаты теплотехнического расчёта в январе для г. Луганска (расчёт выполнен с помощью программы SmartCalc (www.smartcalc.ru))

Рассмотрим результаты исследуемой конструкции в январе месяце при $T_{in} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varphi_{in} = 72\text{ }%$; $T_{out} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varphi_{out} = 86\text{ }%$. На рис. 4 показано температурное поле исследуемой конструкции. Графики построены с помощью бесплатной программы теплотехнических расчетов SmartCalc (www.smartcalc.ru).

Как видно из графиков, в третьем слое появилась зона конденсации.

С помощью пакета программ COMSOL Multiphysics 6.2. с учётом исходных данных (табл. 3), получены функциональные характеристики энергозащищенности ограждающей конструкции, представленные на рис. 5–7. Так, на рис. 5 показано распределение температуры на поверхностях слоёв ограждающей конструкции.

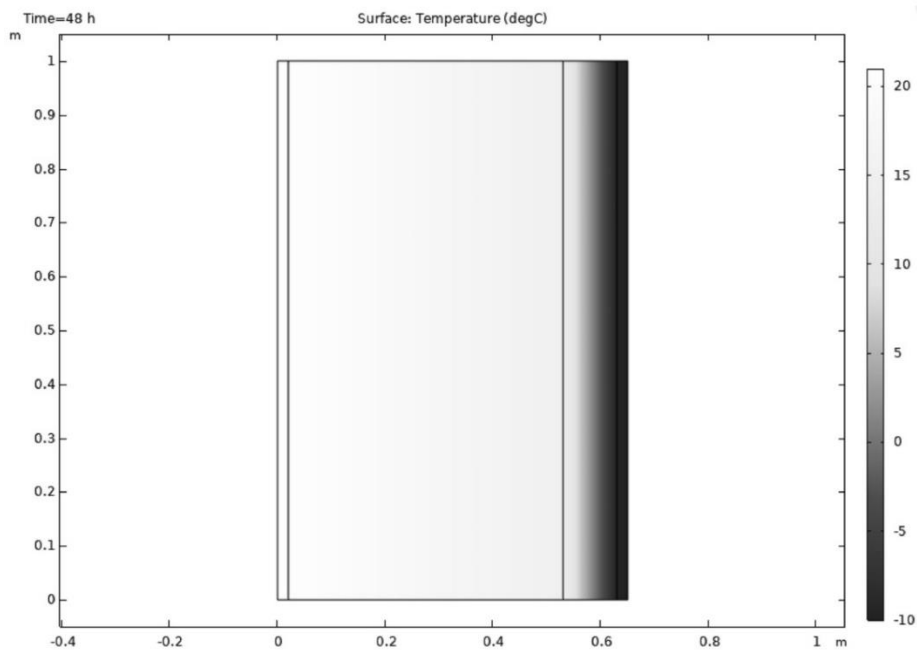


Рис. 5. Распределение температуры на поверхностях слоёв ограждающей конструкции

Задача решалась, как в стационарной, так и в нестационарной постановке. На рис. 6 показаны графики изменения температуры в слоях ограждающей конструкции при стационарном и нестационарном режимах (расчёт произведен при 48 часах).

Как видно из графиков, в теплоизоляционном слое происходит «перегиб» графика. График при стационарном и нестационарном режимах имеет идентичную форму.

На рис. 7 представлены результаты расчёта влажности данной модели при совместном действии температуры и влажности.

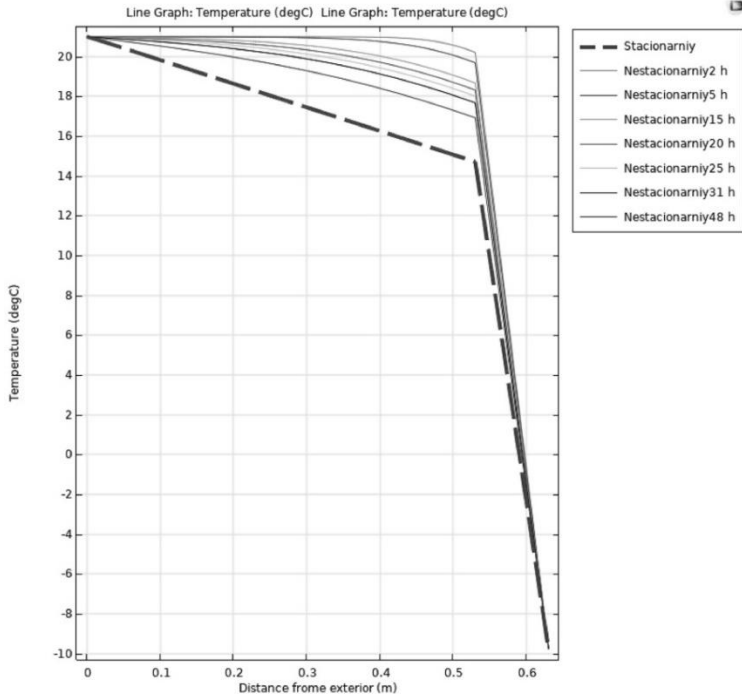


Рис. 6. Графики изменения температуры в слоях ограждающей конструкции при стационарном и нестационарном режимах работы

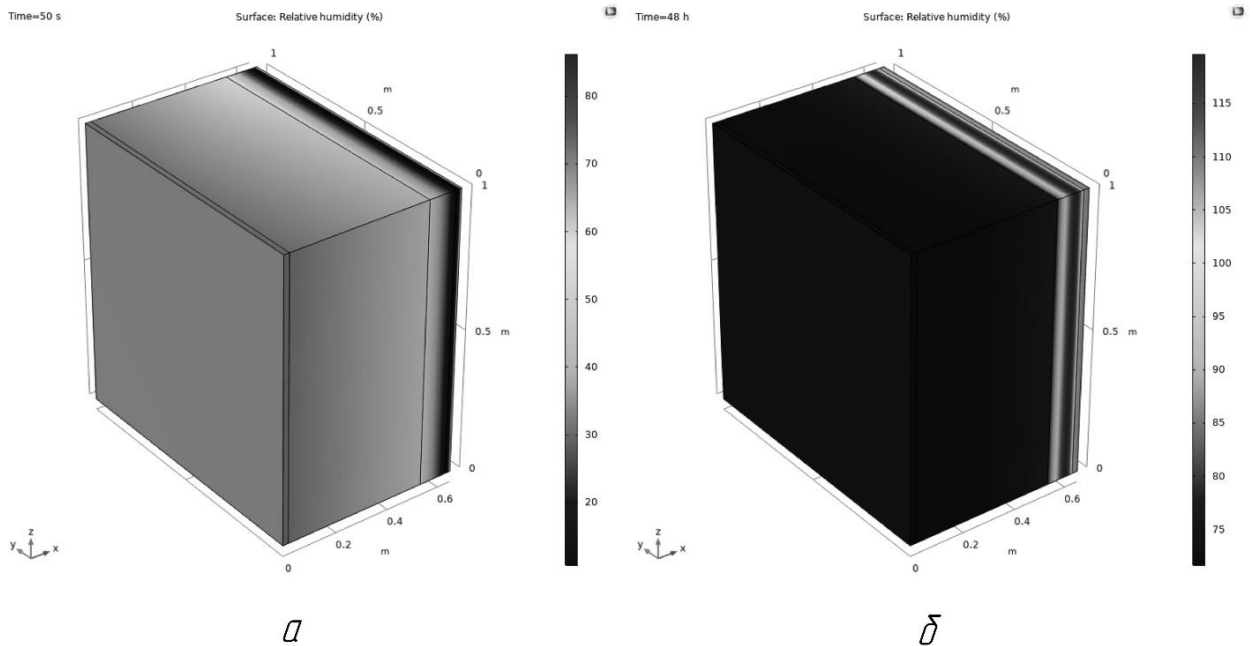


Рис. 7. Распределение на поверхностях при совместном влиянии тепла и влаги
а – при $t=50$ с; б – при $t=48$ h

График изменения влажности в слоях ограждающей конструкции показан на рис. 8. Как видно из графика в слое утеплителя наблюдается «скачок» значения влажности. При нестационарном режиме максимальное значение влажности колеблется $\varphi = 125\%$, а при стационарном режиме – $\varphi = 128\%$.

Увеличим величину времени эксперимента до 31 дня, что соответствует январю месяцу. И повторим расчёт. Как видно из рис. 9 нестационарный режим на большем интервале времени переходит в стационарный.

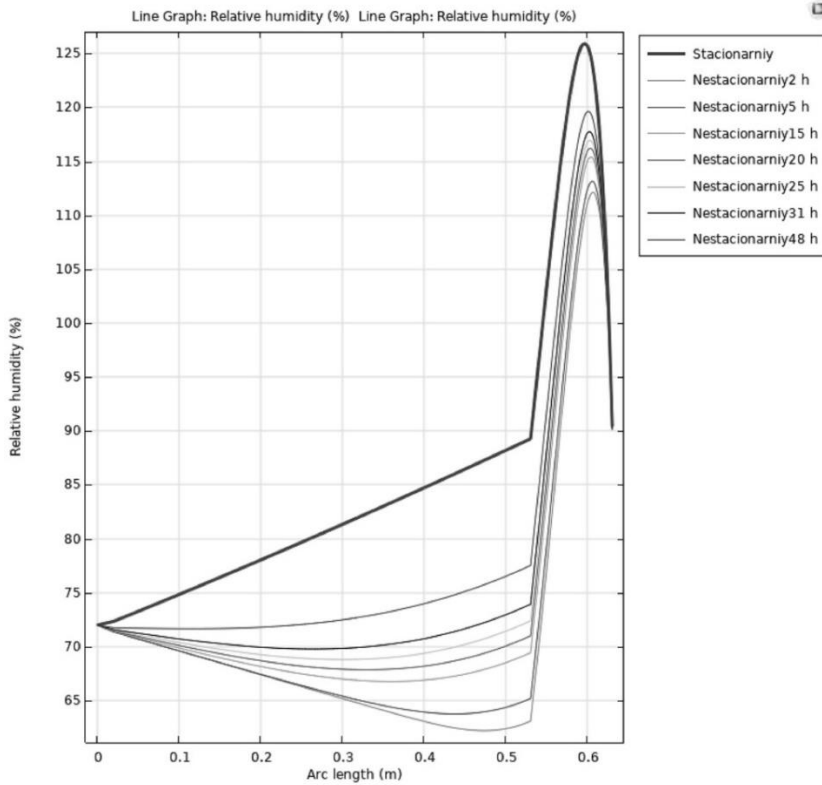


Рис. 8. График изменения влажности в слоях ограждающей конструкции

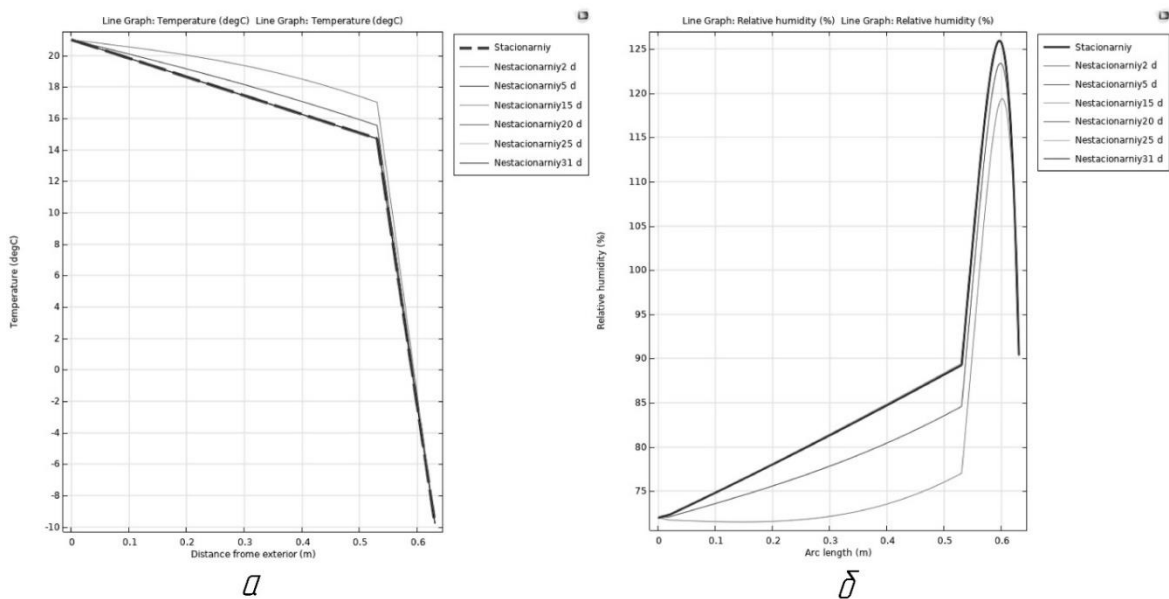


Рис. 9. Графики изменения температуры и влажности при 31 дне эксплуатации
а – температура; б – влажность

Так же видно, что относительная влажность по всей толщине кирпичной стены меняется равномерно до 89 %, а в толще утеплителя наблюдается резкий скачок значения влажности до 126 %, а затем уменьшается до 91 % при относительной влажности 86 %.

Известно, что влажность воздуха определяется парциальным давлением пара в его составе, а начальная температура – давлением насыщенности пара.

Так как в сечении кирпича температура постепенно снижается с 21 до 14,7 °С, то с такой же скоростью уменьшается и давление насыщенных паров в кирпичной стене (рис. 10), при этом относительная влажность растет равномерно. В утеплителе резко возрастает скорость снижения температуры и, следовательно, скорость давления насыщенных паров.

На рис. 10 показаны графики изменения парциального давления и давления насыщенного водяного пара в сечении ограждающей конструкции. Как видно из рис. 10, парциальное давление на внутренней поверхности кирпичной стены равно 1774 Па, а давление насыщенного пара 2450 Па. Далее в толще кирпичной стены наблюдается плавное уменьшение значений обоих давлений и, после перехода в слой утеплителя линии давлений сближаются при 1400 Па. Примерно в этом

месте на графике относительной влажности (рис. 9) наблюдается максимальное значение.

Исследования выявили риск конденсации в толще ограждающей конструкции при совместном воздействии тепла и влажности. Хотя конденсат при отрицательной температуре локализован непосредственно не в кирпичной стене, а в слое утеплителя, то требуются дальнейшие исследования для снижения концентрации водяного пара и предотвращения конденсации влаги.

Для исследования возможности исключения конденсации водяного пара в слое теплоизоляции ограждающей конструкции при одинаковых параметрах температуры и относительной влажности внешней среды рассмотрим 2-ю модель с влагозащитной плёнкой между слоем кирпичной стены и слоем утеплителя. Этот слой создает дополнительный барьер для диффузии водяного пара снаружи от кирпичной стены. Параметры влагозащитного барьера, такие как коэффициент паропроницаемости и толщина, определяются в блоке «Thin Moisture barrier».

Результаты моделирования при включении в геометрию ограждающей конструкции плёночного барьера представлены на рис. 11.

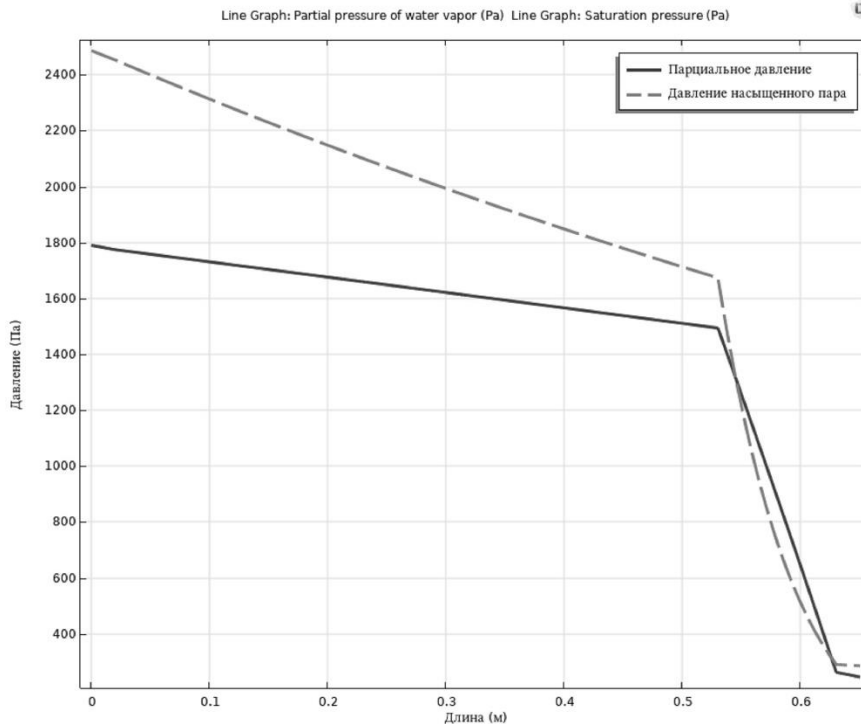
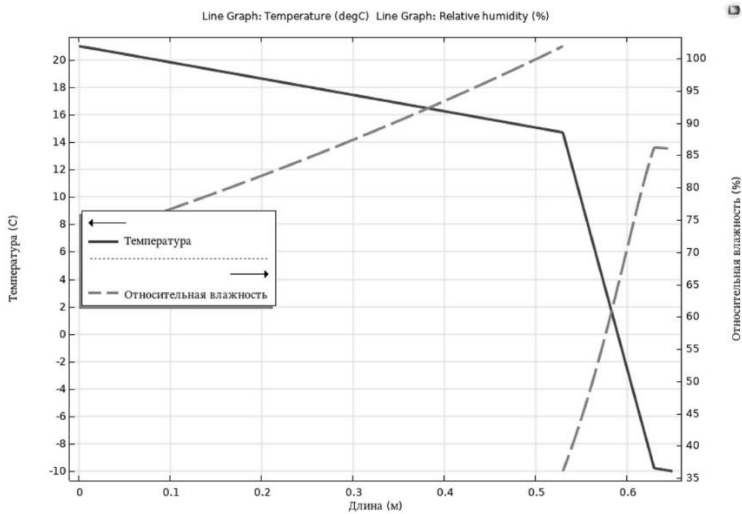
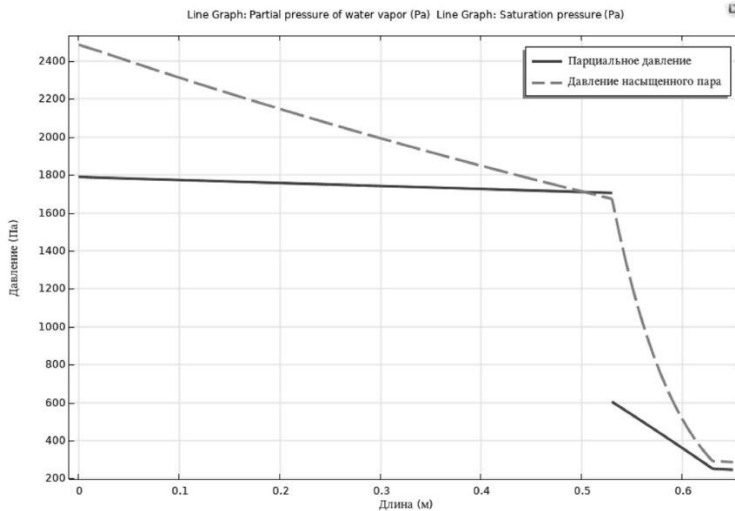


Рис. 10. Парциальное давление и давление насыщенных паров в слоях ограждающей конструкции



а



б

Рис. 11. Характеристики энергозащитённости ограждающей конструкции с плёночным барьером
 а – изменение температуры и относительной влажности по толщине стены;
 б – изменение парциального давления и давления насыщенного пара по толщине стены

Распределение температуры и относительной влажности по толщине конструкции (рис. 11а) показывает, что значения температур по сравнению с рис. 9 почти не изменились, а при распределении относительной влажности наблюдаются существенные различия. Так, относительная влажность растет с 72 до 102 % в слое кирпичной стены, а в зоне защитной плёнки наблюдается резкое уменьшение относительной влажности до 36 %. Далее в слое теплоизоляционного материала относительная влажность возрастает до 86 %.

На рис. 11б приведены графики распределения парциального давления и давления насыщенного пара в сечении ограждающей

конструкции. Парциальное давление на внутренней части стены равно 1785 Па, а давление насыщенного пара равно 2455 Па. Как видно из графиков, парциальное давление плавно уменьшилось в толще кирпичной стены до 1705 Па, а давление насыщенного пара уменьшилось сильнее до величины 1674 Па. Далее парциальное давление в зоне защитного барьера резко падает до 604 Па, что соответствует скачку относительной влажности в этой точке (рис 11, а) с 102 % до 36 %. В слое утеплителя парциальное давление меняется линейно от 604 Па до 250 Па. Давление насыщенного пара снижается к краю утеплителя до 289 Па.

Заключение

В настоящее время многие здания массовой застройки г. Луганска проходят процесс обновления фасадов, ремонта или реконструкции помещений. Опыт обслуживания подобных объектов показывает их значительные возможности для модернизации при небольших затратах. Для повышения энергоэффективности зданий необходимо учитывать характеристики теплообмена внутри стен при изменении температуры и влажности окружающей среды. Для этого используется компьютерное моделирование. Предложенная методика с вычисленными авторами физико-механическими параметрами материалов ограждающей конструкции и коэффициентами изотерм сорбции реализована в пакете программы Comsol Multiphysics.

Список литературы

1. Применение BIM-, BEM- и CFD-технологий для проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективного дома / И. А. Султангузин, Д. А. Кругликов, Т. В. Яцюк, [и др.] // Журнал СОК. 2019. № 3. С. 36–42.
2. Сучилин В. А., Кочетков А. С., Губанов Н. Н. Моделирование в COMSOL Multiphysics энергопотерь сооружений ЖКХ в зависимости от условий эксплуатации // Журнал СОК. 2019. № 4. С. 74–79.
3. Сучилин В. А., Кочетков А. С., Губанов Н. Н. Моделирование в COMSOL Multiphysics энергосбережения типовых зданий ЖКХ при реконструкции и ремонте // Журнал СОК. 2020. № 6. С. 44–50.
4. Елохов А. Е. Методики и примеры расчёта тепловых мостов // Строительство и техногенная безопасность. 2015. № 1. С. 86–93.
5. Сальников В. Б., Беляков В. А. Теплотехнические расчеты строительных конструкций с применением программного комплекса COMSOL Multiphysics. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 48 с.
6. Разаков М. А., Рудакова Е. В. Влияние ориентации здания на проектные тепловые потери // Журнал СОК. 2018. № 11. С. 49–51.
7. Имитационное моделирование прикладных задач тепло- и воздухообмена в программе COMSOL Multiphysics / Г. И. Парфенов, Н. Н. Смирнов, А. А. Яблоков [и др.]. Иваново: Изд-во ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», 2023. 132 с.

В данном исследовании проведена всесторонняя оценка тепло- и влагозащиты фрагмента ограждающей стеновой конструкции. Получены функциональные характеристики энергозащищенности ограждающей конструкции с теплоизоляционным материалом с защитным барьером и без него при стационарном и нестационарном режимах. Как показал анализ, при увеличении интервала времени нестационарный процесс переходит в стационарный.

Анализ полученных результатов показал, что использование защитного барьера между слоем кирпичной стены и утеплителем подтверждает возможность повышения его тепло- и влагозащищенности, что целесообразно при проведении реконструкции существующих зданий или возведении новых.

8. Влагоперенос в вентилируемом канале с нагревательным элементом / Е. А. Стаценко, Т. А. Мусорина, А. Ф. Островая [и др.] // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 2 (70). С. 11–17.

9. Моделирование тепловых объектов с распределенными параметрами с использованием программных комплексов COMSOL Multiphysics–Matlab–Simulink / А. Т. Лелеков, М. Ю. Сахнов, С. А. Галочкин [и др.] // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. 2010. № 4. С. 40–44.

10. Schijndel A.W.M. van, Schellen H. L. The Use of COMSOL in Teaching Heat and Moisture Transport Modeling in Building Constructions. Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference Milan, 2009, pp 32–41.

References

1. Primenenie BIM-, BEM- i CFD-tekhnologij dlya proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii energoeffektivnogo doma [The use of BIM, BEM and CFD technologies for the design, construction and operation of an energy-efficient home] / I. A. Sultanguzin, D. A. Kruglikov, T. V. Yacyuk [et al.]. *Zhurnal SOK*, 2019, issue 3, pp. 36–42.
2. Suchilin V. A., Kochetkov A. S., Gubanov N. N. Modelirovanie v COMSOL Multiphysics energopoter' sooruzhenij ZhKH v zavisimosti ot uslovij ekspluatatsii [Modeling in COMSOL Multiphysics of energy loss of housing and communal services facilities depending on operating conditions]. *Zhurnal SOK*, 2019, issue 4, pp. 74–79.

3. Suchilin V. A., Kochetkov A. S., Gubanov N. N. Modelirovanie v COMSOL Multiphysics energosberezheniya tipovykh zdaniy zhkh pri rekonstrukcii i remonte [Modeling in COMSOL Multiphysics of energy saving of typical housing and communal services buildings during reconstruction and repair]. *Zhurnal SOK*, 2020, issue 6, pp. 44–50.

4. Elohov A. E. Metodiki i primery raschyota teplovykh mostov [Methods and examples of calculation of thermal bridges]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, 2015, issue 1, pp. 86–93.

5. Sal'nikov V. B., Belyakov V. A. *Teplo- i tekhnicheskie raschety stroitel'nykh konstrukcij s primeneniem programmnoho kompleksa COMSOL Multiphysics* [Thermal engineering calculations of building structures using the COMSOL Multiphysics software package]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. 48 p.

6. Razakov M. A., Rudakova E. V. Vliyanie orientacii zdaniya na proektnye teplovye poteri [The effect of building orientation on design heat losses]. *Zhurnal SOK*, 2018, issue 11, pp. 49–51.

7. *Imitacionnoe modelirovanie prikladnykh zadach teplo- i vozduhoobmena v programme*

COMSOL Multiphysics [Simulation of applied heat and air exchange problems in the COMSOL Multiphysics program] / G. I. Parfenov, N. N. Smirnov, A. A. Yablokov [et al.]. Ivanovo: Izd-vo FGBOUVO «Ivanovskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet imeni V. I. Lenina», 2023. 132 p.

8. Vlagoperenos v ventiliruемом канале s nagrevatel'nyim elementom [Moisture transfer in a ventilated duct with a heating element] / E. A. Stacenko, T. A. Musorina, A. F. Ostrovaya [et al.]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, 2017, vol. 2 (70), pp. 11–17.

9. Modelirovanie teplovykh ob'ektov s raspredelennymi parametrami s ispol'zovaniem programmnykh kompleksov COMSOL Multiphysics–Matlab–Simulink [Simulation of thermal objects with distributed parameters using COMSOL Multiphysics–Matlab–Simulink software packages] / A. T. Lelekov, M. Yu. Sahnov, S. A. Galochkin, [et al.]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva*, 2010, issue 4, pp. 40–44.

10. Schijndel A.W.M. van, Schellen H. L. The Use of COMSOL in Teaching Heat and Moisture Transport Modeling in Building Constructions. Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference Milan, 2009, pp 32–41.

Мальгина 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

The Russian Federation, Lugansk

Senior lecturer of the Department

E-mail: oksalita@mail.ru

Засько Виталий Васильевич

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Российская Федерация, г. Луганск

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: vizasko@yandex.ru

Zasko Vitalii Vasil'evich

Luhansk State University named after Vladimir Dahl

The Russian Federation, Lugansk

Candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: vizasko@yandex.ru

УДК 693.546.3:667.27.37:66.02:620.193: 620.193.41

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ТОРКРЕТИРОВАНИИ, ПО КРИТЕРИЯМ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, И. В. КРАСИЛЬНИКОВ^{2,3}, И. А. КРАСИЛЬНИКОВА⁴

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

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

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва

⁴ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru

На основании анализа научных источников показано, что благодаря особенностям технологии, торкрет-бетон обладает улучшенными физическими, механическими и химическими свойствами по сравнению с изделиями, производимыми традиционным способом, а его долговечность одновременно зависит как от внешних факторов (вид и концентрация агрессивных веществ в окружающей среде), так и от внутренних факторов (технология производства, состав и соотношение исходных материалов). В исследованиях использовались составы бетонных смесей с разным водоцементным соотношением, ускоряющими и модифицирующими добавками, а кроме этого, дополнительными вяжущими веществами, такими как зола уноса и конденсированный микрокремнезем. Показаны результаты исследования водонепроницаемости бетонных образцов, отформованных по технологии мокрого торкретирования. Экспериментально изучено изменение распределения пор по размерам, массы и прочности (при сжатии) образцов подверженных воздействию жидкостей, содержащих ионы солей сульфата и хлорида натрия. На основании проведенных исследований сделан вывод о наиболее эффективных составах торкрет-бетона с точки зрения долговечности.

Ключевые слова: долговечность, торкрет-бетон, капиллярно-пористая структура, водонепроницаемость, прочность, масса.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SOME CONCRETE MIXTURES USED IN SHOTCRETE BASED ON DURABILITY CRITERIA

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, I. V. KRASILNIKOV^{2,3}, I. A. KRASILNIKOVA⁴

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

² Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo

³ Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow

⁴ Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru

Based on the analysis of scientific sources, it is shown that due to the peculiarities of the technology, shotcrete concrete has improved physical, mechanical and chemical properties compared to products produced in the traditional way, and its durability simultaneously depends on both external factors (the type and concentration of aggressive substances in the environment) and internal factors (production technology, composition and ratio of raw materials). The research used compositions of concrete mixtures with different

water-cement ratios, accelerating and modifying additives, and in addition additional binders such as fly ash and condensed silica. The results of a study of the water resistance of concrete samples molded using wet shotcrete technology are shown. The change in the pore distribution in size, weight and compressive strength of samples exposed to liquids containing ions of sulfate and sodium chloride salts has been experimentally studied. Based on the conducted research, a conclusion has been made about the most effective compositions of shotcrete in terms of durability.

Keywords: durability, shotcrete, capillary-porous structure, water permeability, strength, mass.

Введение

В последние десятилетия получило широкое распространение безопалубочное формование железобетонных конструкций методом торкретирования. Этот метод позволяет создавать высокопрочные и долговечные конструкции, обладающие рядом преимуществ перед традиционными методами укладки бетона: благодаря нанесению под высоким давлением, торкрет-бетон образует очень прочное сцепление с основанием, что особенно необходимо при ремонте и восстановлении изношенных конструкций, где требуется надежное соединение нового слоя бетона с существующим основанием; торкрет-бетон характеризуется высокой плотностью и низким содержанием пор, что делает его более устойчивым к механическим нагрузкам, атмосферным воздействиям и агрессивным средам; процесс торкретирования позволяет сократить материальные затраты на опалубку и арматурные работы, трудозатраты и продолжительность строительства так как смесь наносится непосредственно на поверхность без необходимости установки сложной опалубочной системы; за счет высокого давления и компактной укладки, торкрет-бетон быстро набирает первоначальную прочность, что позволяет ускорить строительные работы и сократить время ожидания перед началом последующих этапов строительства; кроме этого при возникновении повреждений или дефектов в конструкции, выполненной из торкрет-бетона, ремонтные работы могут быть выполнены быстро и эффективно путем повторного нанесения торкрет-смеси на поврежденные участки. Эти факторы делают торкретирование не только эффективным, но и выгодным выбором для многих объектов строительства. Торкретирование – это эффективный метод нанесения бетона под высоким давлением, который находит широкое применение на различных объектах капитального строительства, в особенности при реконструкции и ремонте [1–8].

Торкретирование активно применяется при строительстве подземных сооружений, таких как тоннели метро, автомобильные тоннели и шахты. Оно позволяет быстро и надежно укреплять своды и стены тоннеля, предотвращая обвалы грунта и обеспечивая безопас-

ность работников. Метод торкретирования часто используется для восстановления и усиления старых зданий и сооружений. Он помогает устранить дефекты, трещины и другие повреждения, возникающие в результате износа или внешних воздействий. Это может касаться как гражданских, так и промышленных объектов.

В процессе строительства гидротехнических объектов торкретирование используется для повышения общей прочности дамб, плотин, каналов и различных водных конструкций. Благодаря высокой устойчивости к влаге и агрессивным средам, торкрет-бетон защищает конструкции от эрозии и предотвращает утечки воды. Подпорные стены и насыпи нуждаются в надежной защите от эрозийных процессов и смещений грунта. Торкретированный бетон обеспечивает необходимую прочность и устойчивость этих конструкций.

Специальные составы торкрет-бетона используются для создания защитных экранов и покрытий в ядерных и химических установках. Такие покрытия помогают предотвратить распространение радиоактивных веществ и вредных химических соединений. Огнестойкий торкрет-бетон применяется для создания огнезащитных покрытий на металлических конструкциях и других материалах, подверженных воздействию высоких температур. Это помогает увеличить время сопротивления огню и повысить безопасность зданий и сооружений.

Торкретирование находит применение в широком спектре областей, связанных со строительством, ремонтом и защитой различных инженерных сооружений. Его уникальные свойства, такие как высокая адгезия, прочность и способность наноситься на сложные поверхности, делают этот метод незаменимым в современном строительстве.

Долговечность торкрет-бетонов определяется сложной совокупностью различных факторов, что требует комплексного подхода как при проектировании, так и при производстве данных материалов.

Коррозионная стойкость торкрет-бетонов существенно зависит от условий их эксплуатации. При высоких температурах и влажности, а также в условиях воздействия циклов заморозания и оттаивания, можно наблюдать ухудшение их характеристик. Одна-

ко, использование специальных добавок и модификаторов в бетонной смеси позволяет повысить устойчивость к таким воздействиям. Это особенно актуально для конструкций, подвергающихся агрессивным климатическим условиям [9, 10].

Необходимо также учитывать, что правильный выбор рецептуры бетона, включая соотношение вяжущих веществ, заполнителей и воды, может значительно повлиять на долговечность и качество торкрет-бетона. Технологии нанесения торкрет-бетона, такие как применение высоконапорного распыления, способствуют более равномерному распределению материала, что также благоприятно отражается на его долговечности. Использование микросиликатов и минералов, наряду с высоким давлением, повышает прочность и снижает пористость, тем самым улучшая защитные свойства материала [11–13].

Воздействие на элементы из торкрет-бетона жидкостей (растворов агрессивных солей/кислот) в первую очередь вызывает структурные изменения в цементном камне. Появление жидкой фазы инициирует процессы растворения и гидролиза основных компонентов цементной матрицы, в особенности гидроксид кальция и кальциево-силикатный гидрогель C-S-H. Растворение и гидролиз приводят к ослаблению структуры цементного камня и его адгезии с заполнителями, снижению механических свойств торкрет-бетона. Основными движущими силами данного процесса являются градиент концентрации ионов, возникающий между пористой средой цементного камня и жидкостью окружающей среды, и гидростатическое давление, которое способствует направленному перемещению воды через структуру бетона посредством фильтрации по его капиллярам.

Сульфат анионы, например, образовавшиеся в результате диссоциации сульфата натрия, при взаимодействии с гидроксидом кальция могут приводить к образованию сульфата кальция (гипса), который совместно с гидратацией алюминатов и алюмосиликатов кальция приводит к образованию этtringита (гидросульфатоалюмината кальция) [9]. Осевшие в крупных капиллярах молекулы солей кристаллизуются, оказывая давление на стенки капилляров и пор, что вызывает появление внутренних растягивающих напряжений. Концентрация сульфат анионов в водной среде, в которой находится портландцементный бетон, во многом определяет, какой продукт будет кристаллизоваться в первую очередь. Хлорид анионы менее опасны для цементного камня торкрет-бетона, но их достижение поверхности стальной арматуры вызывает электрохимиче-

ские реакции на ее поверхности, приводящие в итоге к уменьшению ее сечения [17,18].

В научных источниках информации о сульфатостойкости торкретбетонных материалов и влиянии хлорид анионов недостаточно, соответствующих эксплуатационных исследований практически не проводилось [19–21].

Целью исследований является определение влияния физико-химических процессов коррозионного разрушения в растворах сульфата и хлорида натрия на некоторые составы торкрет-бетона, с последующей оценкой эффективности в промышленном производстве анализируемых составов. Полученные результаты в совокупности создают основу для проектирования долговечных конструкций из торкрет-бетона. Выбор компонентов для бетонных смесей должен опираться на комплексные испытания и анализ их поведения в условиях агрессивной среды, что позволит добиться повышения долговечности и надежности конструкций, построенных на основе таких материалов.

Материалы

и методы исследования

При изготовлении бетонной смеси в качестве основного вяжущего компонента применен портландцемент по ГОСТ 31108-2020 не содержащий минеральных добавок. В качестве крупного заполнителя применен щебень фракции 5...10 мм по ГОСТ 8267, а мелким заполнителем был песок средней крупности ГОСТ 8736-2014. В исследовании коррозионной стойкости торкрет-бетонных покрытий рассмотрено влияние альтернативных портландцемента вяжущих веществ: конденсированного микрокремнезема марки МК-85 и золы-уноса ЗУ КУК-Б-1 (см. табл. 1). Замена части портландцемента золой-уноса или микрокремнезёмом приводит к незначительному увеличению расхода как водоредуцирующей, так и ускоряющей добавок. Зола-унос и микрокремнезём обладают высокой пористостью и поверхностной активностью, что может влиять на взаимодействие цемента с добавками. Небольшое увеличение расхода добавок компенсируется экономическим эффектом от частичной замены дорогостоящего портландцемента более дешевыми материалами.

Водоредуцирующая добавка для бетонной смеси, наносимая торкретированием мокрым методом, необходима для уменьшения количества воды, используемой для смешивания, при условии, что подвижность смеси остается практически неизменной [22]. Добавление низкощелочного ускорителя, состоящего из алюминатных и силикатных компонентов, позволило существенно ускорить процесс твердения бетона. Это особенно актуально при

торкретировании, поскольку позволяет быстрее достичь необходимой прочности и сократить время простоя объекта. Комбинация алюминатов и двухкальциевого силиката способствует образованию дополнительных гидратных соединений, которые заполняют поры в структуре бетона, тем самым увеличивая его плотность и прочность. Однако, следует отметить, что избыток щелочных ускорителей может привести к коррозии арматуры, поэтому контроль дозировки является критическим фактором. В данном случае, дозировка была подобрана оптимально, обеспечивая ускорение твердения без негативного влияния на долговечность конструкции.

При изготовлении бетонной смеси использован суперпластификатор из поликарбонной кислоты в дозировке 0,75 % от массы вяжущего. При непосредственном торкретировании добавлялся низкий щелочной ускоритель, состоящий из алюмината (NaAlO_2) и двухкальциевого силиката ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) в дозировке 2,36 % от массы вяжущего.

Подбор оптимального состава торкрет-бетона в соответствии с критериями долговечности выполнен по результатам испытаний на его коррозионную стойкость к агрессивным воздействиям с использованием водных растворов сульфата и хлорида натрия. Концентрация этих растворов составляла 5 % по массе [23].

Торкретирование бетонной смеси выполнялось мокрым способом горизонтально

полосами шириной по всей ширине поверхности опалубки, с обязательным перекрытием соседних участков. Этот метод предполагает подачу готовой бетонной смеси под давлением через сопло, что позволяет обеспечить равномерное распределение материала и высокую адгезию к поверхности.

В течение первых семи суток после завершения работ, торкрет-бетонные плиты подвергались регулярному увлажнению для обеспечения оптимальных условий твердения материала.

По истечении десяти суток после укладки бетонной смеси, были извлечены керны диаметром 70 мм и высотой 80 мм (см. рисунок). Эти образцы использовались для дальнейших исследований и оценки качества полученного торкрет-бетона. Спустя 28 дней после начального отверждения, образцы погружались в жидкие агрессивные среды [24].

Для детального изучения характеристик, структуры и состава торкрет-бетонных материалов, а также для анализа изменений этих параметров под воздействием реагентов, был проведен комплекс экспериментальных исследований. Применялись методы физико-механических испытаний и химических анализов [25–27], включая определение плотности торкрет-бетона; оценку степени водопоглощения; анализ пористости материала; исследование водонепроницаемости; определение прочности при сжатии; распределение пор по размерам и другие характеристики.

Таблица 1. Соотношения компонентов для изготовления торкрет-бетона

Исходные материалы		Расход на 1 м ³ торкрет-бетонной смеси по образцам различных серий, кг				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Вяжущие вещества	Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н	450	450	450	405	405
	Зола-уноса ЗУ КУК-Б-1	0	0	0	45	0
	Микрокремнезем конденсированный марки МК-85	0	0	0	0	45
Заполнители	Крупный заполнитель – щебень фракции 5-10 мм	910	910	910	910	910
	Мелкий заполнитель – песок средней крупности	900	900	900	900	900
Добавки	Ускоритель твердения ($\text{NaAlO}_2+2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	10,6	10,6	10,6	10,74	10,74
	Суперпластификатор (поликарбонная кислота)	3,38	3,38	3,38	3,42	3,42
Вода		157,5	202,5	247,5	184,5	184,5
В/Ц		0,35	0,45	0,55	0,45	0,45

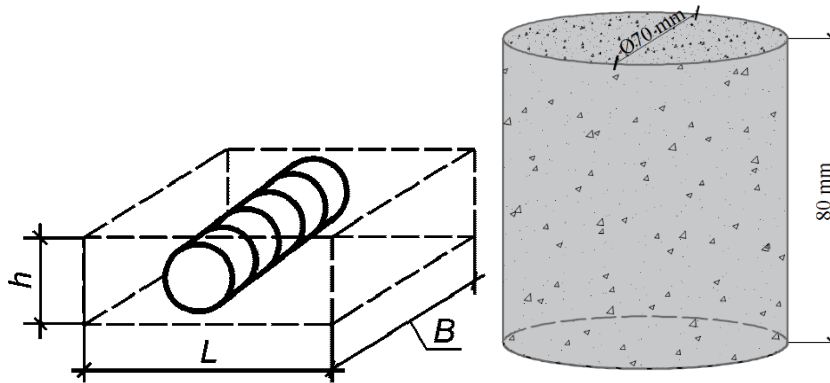


Рисунок. Схемы выпиливания образцов и исследуемый образец

Испытание водонепроницаемости проводилось по методу «мокрое пятно» по ГОСТ 12730.5. Давление воды увеличивалось поэтапно, начиная с отметки 0,2 МПа, с интервалом в пять минут. На каждом этапе давления образец выдерживался в течение шести часов. Увеличение давления воды проводилось до достижения точки, когда начали проявляться признаки фильтрации воды на верхней торцевой грани образца, выражающиеся в форме отдельных капель либо влажных пятен. Оценка степени водонепроницаемости каждого образца базировалась на максимально допустимом уровне гидравлического давления, при котором еще не происходило заметного увлажнения торкрет-бетона [28].

Исследование изменения массы торкрет-бетона проводили на лабораторных весах. Измерение массы контрольных выпиленных цилиндрических (рисунок) образцов выполняли на торкрет-бетонах не подвергшихся воздействию агрессивных сред. Затем, идентичные образцы торкрет-бетона различных серий помещали в растворы солей, а по истечении 10 месяцев измеряли изменившуюся массу. Далее рассчитывали изменение массы в соответствии с формулой:

$$\Delta_m = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_0 – начальная масса образцов (до воздействия жидкой среды), г; m – масса цилиндрического образца торкрет-бетона после воздействия жидкой агрессивной среды, г.

Изменение прочностных характеристик как контрольных, так и подверженных воздействию растворов солей цилиндрических образцов оценивалось по пределу прочности при сжатии. Измерение для каждой серии проводили разрушающим методом на машине для испытаний на сжатие ИП-1А-500 (500кН). С целью повышения точности измерений для

каждой серии все испытания дублировались по шесть раз. Нагружение образцов проводили при равномерном увеличении нагрузки со скоростью 250 кПа·с до полного разрушения. По полученным результатам проводили статистическую обработку, определяя средние значения предела прочности при сжатии, стандартного отклонения, коэффициента вариации, в результате вычисляли значение предела прочности при сжатии торкрет-бетона каждой серии, с последующей оценкой изменения прочности до и после воздействия жидкой агрессивной среды по следующей формуле:

$$\Delta_R = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где R_0 – начальный предел прочности при сжатии цилиндрических образцов (до воздействия жидкой агрессивной среды), МПа; R – предел прочности при сжатии цилиндрического образца торкрет-бетона после воздействия жидкой агрессивной среды [29].

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенное исследование влияния жидких агрессивных сред на цилиндрические образцы торкрет-бетона показало значительные изменения их внешнего вида и физико-механических характеристик. Эти изменения были выражены в виде появления трещин и сколов на поверхности, изменении цвета (в частности, потемнении), а также отслаивании поверхностного слоя и видимом разрушении структуры бетона вблизи краев и углов образцов. Кроме того, визуальные наблюдения позволили зафиксировать признаки разрушения внутренней структуры бетона под воздействием агрессивных факторов среды.

Исследование водонепроницаемости торкрет-бетонов различных рецептов, проведенное согласно указанным методикам, пока-

зало, что марка бетона по водонепроницаемости для исследуемых составов находится в пределах W10–W14. Это свидетельствует о том, что данный торкрет-бетон может быть классифицирован как бетон низкой диффузионной проницаемости [30], что подтверждается

данными, представленными в табл. 2. Отметим, что понижение количества воды при изготовлении бетонной смеси увеличивает водонепроницаемость торкрет-бетона, как и замена части портландцемента золой-уноса.

Таблица 2. Водонепроницаемость торкрет-бетонов

Серия образцов	Давление воды на образце, МПа		Марка торкрет-бетона по водонепроницаемости
	наименьшее, при котором отмечены признаки фильтрации	без заметного увлажнения	
1	1,6	1,4	W14
2	1,4	1,2	W12
3	1,2	1,0	W10
4	1,6	1,4	W14
5	1,4	1,2	W12

Изменения массы образцов торкрет-бетона, подвергшихся воздействию 5%-х растворов хлорида и сульфата натрия в течение 300 суток, представлены в табл. 3. Как видно из данных таблицы, большинство образцов продемонстрировали прирост массы за указанный период времени. Процесс увеличения массы бетонных образцов обусловлен водопоглощением, которое сопровождается гидратацией связующих компонентов и соединений,

содержащих сульфатные группы. Важно подчеркнуть, что этот механизм характерен для большинства образцов. Однако, в случае содержания в торкрет-бетоне микрокремнезема при воздействии сульфатов наблюдается противоположная тенденция – снижение массы, объясняемое визуально наблюдаемыми процессами отслоения поверхностного слоя материала, которые являются следствием образования таумасита.

Таблица 3. Изменение массы различных образцов торкрет-бетона при воздействии 5% растворов хлорида и сульфата натрия

Серия образцов	m ₀ , г	m, г		Δ _m , %	
		Na ₂ SO ₄	NaCl	Na ₂ SO ₄	NaCl
1	711,47	718,95	716,73	1,052	0,739
2	714,94	726,23	723,7	1,579	1,225
3	718,4	733,89	731,34	2,156	1,801
4	716,65	721,07	719,7	0,617	0,425
5	713,5	708,37	715,09	-0,719	0,223

В ходе исследования было установлено, что увеличение массы бетонных образцов обусловлено процессом водопоглощения, сопровождающимся гидратацией связующих компонентов и соединений, содержащих сульфатные группы. При этом повышение водоцементного отношения приводит к заметному увеличению массы образцов на основе исключительно портландцемента. Образцы, включающие 10 % золы-уноса, демонстрируют наибольшую устойчивость к коррозии в агрессивных средах, таких как растворы хлорида и сульфата натрия. Образцы, состоящие только из портландцемента с высоким водоцемент-

ным отношением, показывают меньшую стойкость.

Анализ прочности различных видов торкрет-бетонов после воздействия растворов хлорида и сульфата натрия выявил снижение предела прочности (см. табл. 4), что указывает на повреждения внутренней структуры торкрет-бетона [31]. Наибольшая потеря прочности была зафиксирована у образцов с микрокремнеземом, вызванная образованием таумаситовых соединений и присутствием этрингита. Использование диоксида кремния в качестве заменителя портландцемента в условиях сульфатной коррозии оказывается неэффективным [32].

Таблица 4. Изменение предела прочности при сжатии различных образцов торкрет-бетона при воздействии 5 % растворов хлорида и сульфата натрия

Серия образцов	R ₀ , МПа	R, МПа		Δ _R , %	
		Na ₂ SO ₄	NaCl	Na ₂ SO ₄	NaCl
1	28,64	27,05	27,82	-5,55	-2,86
2	30,06	27,9	28,75	-7,19	-4,36
3	31,18	28,08	28,94	-9,94	-7,18
4	31,79	31,2	31,56	-1,86	-0,72
5	32,91	27,83	29,37	-15,44	-10,76

Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию соотношения компонентов добавок с целью достижения ещё большей эффективности и снижения их расхода при различных составах бетонной смеси, включая составы с различным содержанием замещающих добавок (золы-уноса и микрокремнезема). Также важны исследования влияния данной технологии на долговечность бетонных конструкций в различных эксплуатационных условиях. Важно учитывать влияние климатических факторов на скорость твердения и прочность бетона, полученного с использованием данной технологии.

Выводы

1. Использование комплексной системы добавок – водоредуцирующей на основе поликарбонатовой кислоты и низкощелочного ускорителя – при торкретировании мокрым методом позволило оптимизировать процесс приготовления и нанесения бетонной смеси, улучшить её свойства и сократить сроки строительства.

2. Образцы, содержащие 10 % золы-уноса, демонстрируют лучшую структуру при взаимодействии с агрессивными растворами благодаря наличию активных силикатных ком-

понентов, которые способствуют образованию более плотных цементных камней. Это позволяет значительно снизить проницаемость материалов, что в свою очередь уменьшает уровень водопоглощения и замедляет коррозионные процессы, а кроме этого, незначительно снизить затраты на вяжущие вещества при изготовлении смеси.

3. У образцов, изготовленных без частичной замены основного вяжущего (только из портландцемента), уменьшение водоцементного отношения ведет к снижению общего объема пор и увеличению коррозионной стойкости.

4. Несмотря на преимущества использования добавок, важно учитывать оптимальные пропорции в смесях. Исследования показывают, что превышение содержания микрокремнезема приводит к образованию дисперсных фракций, которые негативно влияют на прочность и межфазные взаимодействия в цементной матрице. Контроль за качеством исходных компонентов, а также соблюдение технологических условий при смешивании являются важными факторами для достижения высокой прочности и стабильности бетонов.

Список литературы

1. Управление долговечностью сооружений из бетона и железобетона (на примере железобетонной башенной градирни) / И. В. Красильников, У. А. Новикова, К. Б. Строкин [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 3 (47). С. 66-81.

2. S. V. Fedosov, B. I. Bulgakov, I. V. Krasilnikov [et al.]. Forecast of the Durability of Shore Structures Made of Reinforced Concrete. Solid State Phenomena. 2022. 334, pp. 217–224.

3. Моделирование массопереноса агрессивных растворов солей в торкрет-

бетонном покрытии / В. Е. Румянцева, И. В. Красильников, У. А. Новикова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 116–128.

4. Моделирование параметров технологического процесса сухого торкретирования поверхностей строительных конструкций / А. А. Абраменко, В. Я. Мищенко, А. Л. Семенов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 7 (739). С. 36–46.

5. Барабанщиков Ю. Г., Васильев А. С. Эффективность добавок-ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона // Инженерно-строительный журнал. 2012. Вып. 8. С. 72–78.

6. Повышение сейсмостойкости каменных конструкций односторонними аппликациями из торкрет-бетона / О. В. Кабанцев, Г. П. Тонких, О. А. Симаков [и др.] // *Аэропорты: Прогрессивные технологии*. 2011. № 3. С. 23–37.
7. Лесовик В. С., Федюк Р. С., Панарин И. И. Торкрет-бетоны и инъекционные растворы для комплексного ремонта подземных сооружений // *Scientific journal «Academia. Architecture and construction»*. 2023. № 1. С. 101–107. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-101-107
8. Магнезиальный низкоцементный торкрет-бетон для ремонта футеровки печи огневого рафинирования меди магнезиальный низкоцементный торкрет-бетон для ремонта футеровки печи огневого рафинирования меди анортитовый и гексаалюминаткальциевый теплоизоляционные бетоны на микропористых заполнителях / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Л. А. Бабкина [и др.] // *Новые огнеупоры*. 2008. № 3. С. 54а-54.
9. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 6 (372). С. 268–276.
10. Yagubkin A., Guona M., Wang H. Shotcretes and mortars for 3d printers using chinese industrial waste. *Herald of Polotsk State University. Series F. Civil Engineering. Applied Sciences*, 2023, issue 3, pp. 69–74.
11. Марчуков М. Н., Блажко В. П., Коллинченко Н. Н. Возведение малозэтажных зданий методом «мокрого» торкретирования // *Энергетическое строительство*. 1992. № 6. С. 65–68.
12. Фам Дик Тханг, Булгаков Б. И., Танг Ван Лам. Применение мелкозернистого торкрет-бетона для строительства туннелей метро // *Вестник МГСУ*. 2016. № 7. С. 81–90.
13. Исследование влияния процессов массопереноса на надежность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Строительные материалы*. 2017. № 12. С. 52–57.
14. Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций / В. Ф. Степанова, Н. К. Розенталь, Г. В. Чехний [и др.] // *Строительные материалы*. 2018. № 8. С. 69–73.
15. Исследования физико-химических процессов в системе «цементный бетон - жидкая агрессивная среда» / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2022. Т. 65. Вып. 7. С. 61–70
16. Математическое моделирование нестационарного массопереноса в системе «цементный бетон - жидкая среда», лимитируемого внутренней диффузией и внешней массоотдачей / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Строительные материалы*. 2022. № 1-2. С. 134–140.
17. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры [и др.] М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
18. Гетерогенные физико-химические процессы массопереноса агрессивных веществ в структуре бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в газовой среде с изменяющимися параметрами / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2022. № 4 (45). С. 142–152.
19. Прогноз долговечности береговых сооружений из железобетона / С. В. Федосов, Б. И. Булгаков, И. В. Красильников [и др.] // *Техника и технология силикатов*. 2022. Т. 29. № 1. С. 55–63.
20. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
21. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Методы математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах. Москва. Издательство АСВ. 2021. 244 с.
22. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. № 1. С. 99–104.
23. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко [и др.] // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 44–47.
24. Нестационарный массоперенос в процессах коррозии второго вида цементных бетонов. малые значения чисел Фурье, с внутренним источником массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. № 1. С. 97–99.
25. Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete / S. Fedo-

sov, V. Roumyantseva, I. Krasilnikov [et al.]. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, vol. 403 LNNS, pp. 1362–1370.

26. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Rummyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. Magazine of Civil Engineering, 2018, vol. 7 (83), pp. 198–207.

27. Физические особенности проблем жидкостной коррозии железобетона с позиций теории тепломассопереноса / С. В. Федосов, И. В. Красильников, В. Е. Румянцева [и др.] // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19. № 4. С. 392–409. DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-4-392-409

28. Красильников И. В. Определение параметров процесса неизотермического массопереноса при жидкостной коррозии бетонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 1 (45). С. 99–109.

29. Определение влияния вязкости насыщающей жидкости на физико-механические характеристики цементного камня различной пористости / В. Е. Румянцева, И. В. Красильников, И. А. Красильникова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 143–152.

30. Smirnova N. N., Krasil'nikov I. V. An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide. Russian Journal of Applied Chemistry, 2019, vol. 92. issue 11. pp. 1570–1580.

31. Трансформация прочности бетона при эксплуатации конструкции в агрессивной воздушной среде с изменяющимися параметрами / В. Е. Румянцева, И. В. Красильников, У. А. Новикова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 158–168.

32. Самовосстановление бетонов модифицированием специальными бактериями / В. Е. Румянцева, И. В. Красильников, М. В. Таничев [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 160–167.

References

1. Upravlenie dolgovechnost'yu sooruzhenij iz betona i zhelezobetona (na primere zhelezobetonnoj bashennoj gradirni) [Durability of concrete and reinforced concrete structures (using the example of a reinforced concrete tower cooling tower)] / I. V. Krasilnikov, U. A. Novikova, K. B. Strokin [et al.]. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo

universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2022, vol. 3 (47). pp. 66–81.

2. S. V. Fedosov, B. I. Bulgakov, I. V. Krasilnikov [et al.]. Forecast of the Durability of Shore Structures Made of Reinforced Concrete. Solid State Phenomena. 2022. 334, pp. 217–224.

3. Modelirovanie massoperenosa agresivnyh rastvorov solej v torkret-betonnom pokrytii [Modeling of mass transfer of aggressive salt solutions in a shotcrete coating] / V. E. Rummyantseva, I. V. Krasilnikov, U. A. Novikova [et al.]. Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity, 2024, vol. 2 (51), pp. 116–128.

4. Modelirovanie parametrov tekhnologicheskogo processa suhogo torkretirovaniya poverhnostej stroitel'nyh konstrukcij [Modeling of the parameters of the technological process of dry shotcrete of building structures surfaces] / A. A. Abramenko, V. Ya. Mishchenko, A. L. Semenov [et al.]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo, 2020, vol. 7 (739), pp. 36–46.

5. Barabanshchikov Yu. G., Vasil'ev A. S. Effektivnost' dobavok-uskoritelej skhvatyvaniya i tverdeniya dlya torkret-betona [The effectiveness of additives-accelerators of setting and hardening for shotcrete]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, 2012, vol. 8, pp. 72–78.

6. Povyshenie seismostojkosti kamennyh konstrukcij odnostoronnimi aplikacijami iz torkret-betona [Increasing the seismic resistance of stone structures with one-sided applications of shotcrete] / O. V. Kabancev, G. P. Tonkih, O. A. Simakov [et al.]. Aeroporty: Progressivnye tekhnologii, 2011, vol. 3, pp. 23–37.

7. Lesovik V. S., Fedjuk R. S., Panarin I. I. Torkret-betony i in'ekcionnye rastvory dlya kompleksnogo remonta podzemnyh sooruzhenij [Shotcrete-concretes and injection solutions for complex repair of underground structures]. Scientific journal «Academia. Architecture and construction», 2023, vol. 1, pp. 101–107. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-101-107

8. Magnezial'nyj nizkocementnyj torkret-beton dlya remonta futerovki pechi ognevogo rafinirovaniya medi magnezial'nyj nizkocementnyj torkret-beton dlya remonta futerovki pechi ognevogo rafinirovaniya medi anortitovyj i geksaaluminatkal'cievyj teplozolyacionnye betony na mikroporistyh zapolnitelyah [Magnesian low-cement shotcrete for repair of lining of the furnace of fire refining of copper magnesian low-cement shotcrete for repair of lining of the furnace of fire refining of copper anorthite and hexaaluminate calcium insulating concretes on microporous fillers] / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, L. A. Babkina [et al.]. Novye ogneupory, 2008, vol. 3, pp. 54a–54.

9. Opredelenie resursa bezopasnoj ekspluatatsii konstrukcij iz betona, sodержashchego

gidrofobiziruyushchie dobavki [Determination of the resource of safe operation of concrete structures containing hydrophobic additives] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2017, vol. 6 (372), pp. 268–276.

10. Yagubkin A., Guona M., Wang H. Shotcretes and mortars for 3d printers using chinese industrial waste. Herald of Polotsk State University. Series F. Civil Engineering. Applied Sciences, 2023, issue 3, pp. 69–74.

11. Marchukov M. N., Blazhko V. P., Kolinchenko H. H. Vozvedenie maloetazhnykh zdaniy metodom «mokrogo» torkretirovaniya [Construction of low-rise buildings by the method of «wet» shotcrete]. *Energeticheskoe stroitel'stvo*, 1992, vol. 6, pp. 65–68.

12. Fam Dik Thang, Bulgakov B. I., Tang Van Lam. Primenenie melkozernistogo torkretbetona dlya stroitel'stva tunnelej metro [The use of fine-grained shotcrete for the construction of subway tunnels]. *Vestnik MGSU*, 2016, vol. 7, pp. 81–90.

13. Issledovanie vliyaniya processov massoperenosa na nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstrukcij, ekspluatiruemykh v zhidkikh agressivnykh sredakh [Investigation of the influence of mass transfer processes on the reliability and durability of reinforced concrete structures operated in liquid aggressive environments] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, vol. 12, pp. 52–57.

14. Opredelenie korrozionnoj stojkosti torkretbetona kak zashchitnogo pokrytiya betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukcij [Determination of the corrosion resistance of shotcrete as a protective coating of concrete and reinforced concrete structures] / V. F. Stepanova, N. K. Rozental', G. V. Chekhniy [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2018, vol. 8, pp. 69–73.

15. Issledovaniya fiziko-himicheskikh processov v sisteme «cementnyj beton - zhidkaya agressivnaya sreda» [Research of physical and chemical processes in the system «cement concrete - liquid aggressive environment»] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2022, vol. 65, issue 7, pp. 61–70.

16. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnogo massoperenosa v sisteme «cementnyj beton - zhidkaya sreda», limitiruемого vnutrennej diffuziej i vneshnej massootdachej [Mathematical modeling of unsteady mass transfer in the «cement concrete - liquid medium» system, limited by internal diffusion and external mass transfer] / S. V. Fedosov, V. E.

Romyanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2022, vol. 1-2, pp. 134–140.

17. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredakh [Durability of reinforced concrete in aggressive environments] / S. N. Alekseev, F. M. Ivanov, S. Modry [et al.]. Moscow: Strojizdat, 1990. 320 p.

18. Geterogennyye fiziko-himicheskie processy massoperenosa agressivnykh veshchestv v strukture betona zhelezobetonnykh konstrukcij, ekspluatiruemykh v gazovoj srede s izmenyayushchimisya parametrami [Heterogeneous physico-chemical processes of mass transfer of aggressive substances in the concrete structure of reinforced concrete structures operated in a gas environment with varying parameters] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 142–152.

19. Fedosov S.V., Bulgakov B.I., Krasilnikov I.V., Ngo Suan Hung, Tang Van Lam. Prognoz dolgovechnosti beregovykh sooruzhenij iz zhelezobetona [Forecast of durability of shore structures made of reinforced concrete] // *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2022. vol. 29. № 1. pp. 55-63.

20. Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection] / V. M. Moskvina, F. M. Ivanov, S. N. Alekseev [et al.]. Moscow: Strojizdat, 1980. 536 p.

21. Fedosov S. V., Romyanceva V. E., Krasilnikov I. V. Metody matematicheskoy fiziki v prilozheniyah k problemam korrozii betona v zhidkikh agressivnykh sredakh [Methods of mathematical physics in applications to the problems of concrete corrosion in liquid aggressive media]. Moskva. Izdatel'stvo ASV. 2021. 244 s.

22. Issledovanie diffuzionnykh processov massoperenosa pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnykh betonov [Investigation of diffusion processes of mass transfer in liquid corrosion of the first type of cement concretes] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 99–104.

23. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya processov korrozii pervogo vida cementnykh betonov pri nalichii vnutrennego istochnika massy [Theoretical and experimental studies of corrosion processes of the first type of cement concretes in the presence of an internal mass source] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, N. S. Kas'yanenko [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, vol. 6, pp. 44–47.

24. Nestacionarnyj massoperenos v processah korrozii vtorogo vida cementnykh betonov. malye znacheniya chisel Fur'e, s vnutrennim istochnikom massy [Unsteady mass transfer in the

corrosion processes of the second type of cement concretes. small values of Fourier numbers, with an internal mass source] / S. V. Fedosov, V. E. Romyanceva, N. S. Kas'yanenko [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 97–99.

25. Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete / S. Fedosov, V. Romyantseva, I. Krasilnikov [et al.]. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 403 LNNS, pp. 1362–1370.

26. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Romyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, vol. 7 (83), pp. 198–207.

27. Fizicheskie osobennosti problem zhidkostnoj korrozii zhelezobetona s pozicij teorii teplomassoperenosa [Physical features of the problems of liquid corrosion of reinforced concrete from the standpoint of the theory of heat and mass transfer] / S. V. Fedosov, I. V. Krasilnikov, V. E. Romyanceva [et al.]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, 2023, vol. 19, issue 4, pp. 392–409. DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-4-392-409

28. Krasilnikov I. V. Opredelenie parametrov processa neizotermicheskogo massoperenosa pri zhidkostnoj korrozii betonov [Determination of the parameters of the nonisothermal mass transfer process during liquid corrosion of concrete]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universi-*

teta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika, 2022, vol. 1 (45), pp. 99–109.

29. Opredelenie vliyaniya vyazkosti nasyshayushchej zhidkosti na fiziko-mekhanicheskie karakteristiki cementnogo kamnya razlichnoj poristosti [Determination of the effect of the viscosity of the saturating liquid on the physico-mechanical characteristics of cement stone of various porosity] / V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov, I. A. Krasilnikova [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 143–152.

30. Smirnova N. N., Krasil'nikov I. V. An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2019, vol. 92. issue 11. pp. 1570–1580.

31. Transformaciya prochnosti betona pri ekspluatatsii konstrukcii v agressivnoj vozduшной srede s izmenyayushchimisya parametrami [Transformation of concrete strength during construction operation in an aggressive air environment with changing parameters] / V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov, U. A. Novikova [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 158–168.

32. Samovosstanovlenie betonov modifitsirovaniem special'nymi bakteriyami [Self-healing of concrete by modification with special bacteria] / V. E. Romyanceva, I. V. Krasilnikov, M. V. Tanichev [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 2 (47), pp. 160–167.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор
E-mail: varrym@gmail.com

Romyantseva Varvara Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: varrym@gmail.com

Красильников Игорь Викторович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, доцент
E-mail: korasb@mail.ru

Krasilnikov Igor Viktorovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: korasb@mail.ru

Красильникова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир
кандидат технических наук, доцент
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Krasilnikova Irina Aleksandrovna

Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

УДК 691.316

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТОГО ВЯЖУЩЕГО ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Ю. Ф. ПАНЧЕНКО³, Д. А. ПАНЧЕНКО³, Б. Е. НАРМАНИЯ⁴

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

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

³ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
Российская Федерация, г. Тюмень

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

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru, borisfablee@gmail.com

Статья посвящена исследованию процессов деструкции, происходящих в бетонах на основе известково-кремнеземистого вяжущего под воздействием растворов хлорида натрия. Данный вид коррозионного разрушения проявляется при воздействии антиобледенителей на силикатный кирпич. В результате проведенных исследований установлена кинетика изменения прочности при сжатии бетона на основе известково-кремнеземистого вяжущего в зависимости от исходной концентрации раствора и исходной прочности бетона в сухом состоянии и в увлажненном состоянии после воздействия попеременного увлажнения-высушивания. Выдвинута гипотеза, объясняющая волнообразный характер изменения прочности бетонных образцов при данном виде агрессивного воздействия, которая подтверждена результатами микроскопического исследования структуры бетона. В заключении предложены меры устранения последствий негативного воздействия растворов хлорида натрия на силикатный кирпич.

Ключевые слова: воздушная известь, силикатный бетон, прочность при сжатии, раствор хлорида натрия, разрушение.

INVESTIGATION OF THE DESTRUCTION OF BUILDING MATERIALS FROM LIME-SILICA BINDER UNDER THE INFLUENCE OF SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, D. A. PANCHENKO³, Yu. F. PANCHENKO³, B. E. NARMANIA⁴

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 «Industrial University of Tyumen»,
Russian Federation, Tyumen

⁴Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)»,
Russian Federation, Moscow

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru, borisfablee@gmail.com

The article is devoted to the study of the degradation processes occurring in concrete based on lime-silica binder under the influence of sodium chloride solutions. This type of corrosion destruction is manifested when defrosting agents are applied to calcium silicate bricks. As a result of the conducted research, the kinetics of changes in the compressive strength of concrete based on a lime-silica binder has been estab-

lished, depending on the initial concentration of the solution and the initial strength of concrete in a dry state and in a moistened state after exposure to alternating humidification-drying. A hypothesis has been put forward explaining the wave-like nature of the change in the strength of concrete samples under this type of aggressive action, which is confirmed by the results of microscopic investigation of the concrete structure. In conclusion, there are proposed actions to eliminate the consequences of the negative effects of sodium chloride solutions on silicate bricks.

Keywords: air lime, calcium silicate concrete, compressive strength, sodium chloride solution, destruction.

Введение

Одним из приоритетных направлений развития строительной отрасли является обеспечение стойкости и долговечности строительных материалов в условиях агрессивного воздействия окружающей среды. Коррозия тяжелого бетона на цементной основе, как наиболее часто применяемого в качестве конструкционного материала, в том числе и для особо ответственных конструкций, всегда являлась предметом особого внимания. Фундаментальные основы развития процессов коррозии бетона и железобетона, в том числе и хлоридной, получены В. М. Москвиным [1] и его учениками и в настоящее время развиваются учеными В. Ф. Степановой и ее коллегами в Научно-исследовательском центре «Строительство» НИУ МГСУ [2–3], С. Н. Леоновичем в Белорусском национальном техническом университете [4] и академиком РААСН

С. В. Федосовым [5–7] в рамках научной школы которого и выполнены данные исследования.

Однако, и строительные материалы на основе других видов вяжущих, например известково-кремнеземистого, требуют проведения подобных исследований, так как не только могут стать причиной снижения ресурса работы несущих конструкций, но и зачастую являются причиной потери эстетического вида отделочных материалов. Типичным представителем материалов на основе известково-кремнеземистого вяжущего является силикатный кирпич.

Наиболее часто силикатный кирпич становится жертвой воздействия хлорсодержащих антиобледенителей в зимнее время, которые применяются для очистки от наледи пешеходных дорожек и ступеней вокруг жилых зданий (рис. 1)



Рис. 1. Характер разрушения силикатного кирпича под воздействием антиобледенителей

В качестве антиобледенителей, как правило, используют каменную соль – NaCl. Противогололедную обработку осуществляют в зимний период времени, а появление отложений солей в виде белых пятен и разрушение кирпича начинается и развивается в весенний период времени, когда происходит активное попеременное увлажнение-высыхание кирпичной кладки. Следовательно, исследования влияния растворов хлорида натрия на силикатный кирпич, необходимо проводить в условиях нестационарного воздействия, т.е. попеременного увлажнения-

высушивания. Несомненно, возникает вопрос о том, не является ли результат разрушения кладки, следствием применения силикатного кирпича низкого качества и оказывает ли какое-то влияние исходная прочность силикатных бетонов на интенсивность и длительность протекания данного процесса. Кроме этого, необходимо установить, как влияет концентрация агрессивного раствора на процесс разрушения силикатного бетона и можно ли установить какой-либо безопасный уровень расхода антиобледенителя, не оказывающего резкого негативного влияния на силикатный кирпич.

На основании этого сформулирована цель данной работы: исследование процессов деструкции силикатного бетона под воздействием растворов хлорида натрия различной концентрации при попеременном увлажнении-высушивании и влияния исходной прочности бетона на кинетику протекания данного процесса.

Материалы и методы исследований

Для исследования влияния исходной прочности силикатного бетона на кинетику процесса его деструкции в результате коррозионного воздействия было приготовлено три состава сырьевой смеси с различным содержанием вяжущего вещества, что выражалось в получении смесей с различной активностью по CaO и MgO. Сверх сухих компонентов дозировалась вода, для обеспечения гашения извести и получения требуемой формовочной

влажности – 8 %. Составы смесей представлены в таблице. Приготовленные смеси помещались в пластиковые емкости с крышкой, выдерживались в течение 1 часа до полного гашения извести, после чего из них осуществлялось формование образцов-цилиндров с диаметром 3 см, высотой $3 \pm 0,2$ см путем прессования на ручном прессе при давлении 100 кН. Отформованные цилиндры помещались в промышленный автоклав для твердения при давлении 0,9 МПа и изотермической выдержке 8 часов.

Образцы-цилиндры подвергались попеременному увлажнению-высушиванию в растворах хлористого натрия 5%-ой и 20%-ой концентрации. В качестве контрольных параметров приняты прочность при сжатии в сухом и во влажном состоянии. Также в процессе испытаний производился осмотр образцов на наличие дефектов и трещин.

Таблица. Составы сырьевых смесей силикатного бетона

№ состава	Содержание компонента, %			Активность смеси по CaO и MgO, %
	песок	известково-кремнеземистое вяжущее	вода, сверх сухих компонентов	
1	84	16	11,1	7,5
2	80	20	11,9	9,5
3	76	24	12,7	11,5

Результаты исследований

Не зависимо от исходной прочности бетона и от концентрации NaCl, можно отметить схожий характер изменения прочности при сжатии силикатного бетона как в сухом, так и во влажном состоянии.

В сухом состоянии наблюдается некоторое упрочнение образцов на начальном этапе (рис. 2), приходящееся на первые 2 цикла увлажнения-высушивания, при этом для раствора 20%-ной концентрации это упрочнение более значительное и составляет от 15 % до 35 % в зависимости от состава силикатного бетона, по сравнению с 5%-ным раствором, для которого упрочнение составило всего 4–5 %. Далее наблюдается волнообразное изменение прочности образцов по мере увеличения количества циклов увлажнения-высушивания. Рост прочности силикатного бетона на начальном этапе объясняется тем, что кристаллизация соли в порах бетона приводит к его уплотнению [1]. После полного заполнения пор, начинает увеличиваться кристаллизационное давление соли, что приводит к появлению микротрещин и микродефектов, приводящих к постепенному снижению прочности. Образовавшиеся микротрещины, при достиже-

нии ширины раскрытия, соответствующей диаметру микрокапилляров, сами начинают проводить агрессивный раствор вглубь материала, постепенно кольматируются солями, что вновь приводит к уплотнению и упрочнению структуры бетона.

Максимальное падение прочности бетона, подвергнутого воздействию 5%-го раствора хлористого натрия приходится на 8 циклов попеременного увлажнения-высушивания и составляет 17–25 % для бетонов разного состава, после чего, вплоть до 16 циклов, происходит рост прочности на 15–30 % и последующее снижение до первоначального уровня после 20 циклов увлажнения-высушивания. В этот же момент появляются первые видимые горизонтальные трещины на образцах (рис. 3 а).

При воздействии 20%-го раствора NaCl также наблюдается два периода снижения прочности бетона при сжатии, приходящиеся на 4 и на 12 циклов попеременного увлажнения-высушивания, при этом в обоих случаях прочность не ниже первоначальной. Перед вторым падением прочности, после 10 циклов увлажнения-высушивания, достигается упрочнение бетона на 30–34 %. Появление первых

видимых трещин (рис. 3б и в) на части образцов также совпадает со вторым снижением прочности образцов. Следует отметить, что количество образцов, имеющих дефекты в виде трещин, увеличивается по мере снижения первоначальной прочности бетона. Так для состава с исходной прочностью при сжатии 13,2 МПа около 40 % образцов имели видимые

дефекты, для состава с прочностью 18,4 – около 20 %, для состава с прочностью 23 МПа – единичные образцы, что составляло около 5 % от общего количества. Это объясняется тем, что для образования трещины в более прочных телах, отложениям соли необходимо создать более высокие внутренние растягивающие напряжения.

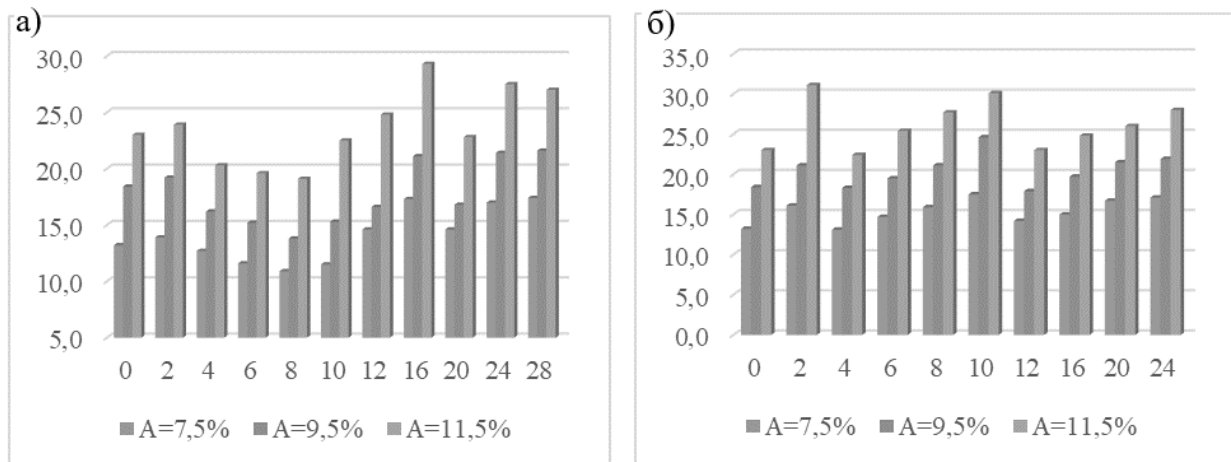


Рис. 2. Влияние растворов хлорида натрия на прочность при сжатии силикатного бетона в сухом состоянии при воздействии попеременного увлажнения-высушивания
а) концентрация раствора 5 %; б) концентрация раствора 20 %

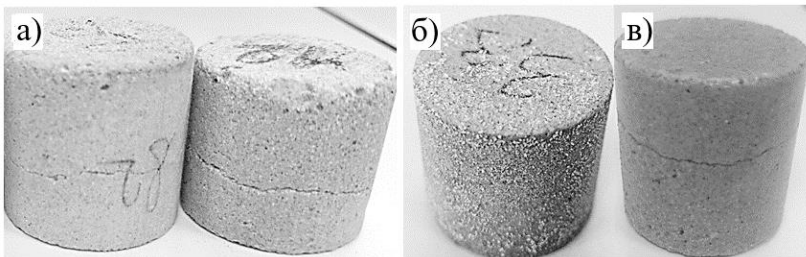


Рис. 3. Первые трещины на образцах после увлажнения-высушивания в растворах хлорида натрия
а) сухие образцы после 20 циклов испытания в 5%-м растворе;
б) сухой образец после 12 циклов испытания в 20%-м растворе;
в) влажный образец после 12 циклов испытания в 20%-м растворе

Исследование микроструктуры силикатного бетона после 8 циклов увлажнения-высушивания в растворах хлористого натрия (рис. 4) свидетельствует о том, что в обоих случаях присутствуют трещины, которые возникают и раскрываются, заканчивая свой путь при достижении крупных пор и пустот. Ширина раскрытия трещин в бетоне после воздействия 5%-го раствора NaCl находится в диапазоне от $3 \cdot 10^{-6}$ м до 10^{-7} м, после воздействия раствора 20%-ной концентрации – от 10^{-6} м до $5 \cdot 10^{-8}$ м. Меньшая ширина трещин в бетоне после воздействия 20%-го раствора соли и их меньшее количество, вероятно объясняется тем, что при высокой концентрации раствора происходит более быстрая коагуляция возникающих дефектов. Вероятно максимальное раскрытие

трещин при воздействии данной концентрации раствора пришлось на 4 цикла попеременного увлажнения-высушивания, когда наблюдалось первое снижение прочности бетона. Следует отметить, что отложения солей на стенках крупных пор, с шириной раскрытия 10^{-5} м после 8 циклов увлажнения-высушивания не наблюдаются. Зато морфологические различия, представленные тоберморитом в виде пластинчатых и игольчатых кристаллов, а также гидросиликаты кальция скрытокристаллической структуры [8], расположенные вблизи зерен кварца обильно покрыты соевым налетом, особенно в бетоне, подвергнутом воздействию 20%-го раствора NaCl. Это объясняется тем, что области новообразований имеют поры

с размером $(2-8) \cdot 10^{-8}$, обладающие высокой капиллярной проводимостью [9].

После 24-го цикла увлажнения-высушивания наблюдалось сильное шелушение образцов (рис. 5). Значительные видимые разрушения затрагивали только наружные слои бетона, что свидетельствует о том, что на поздних циклах увлажнения-высушивания кольматация пор препятствует проникновению

раствора соли вглубь бетона и коррозионный процесс развивается только в наружном слое. При этом центральная часть бетона по-прежнему способна воспринимать нагрузку, что выражается в сохранении прочности образцов. Данные выводы подтверждают и результаты определения прочности образцов в водонасыщенном состоянии (рис. 6).

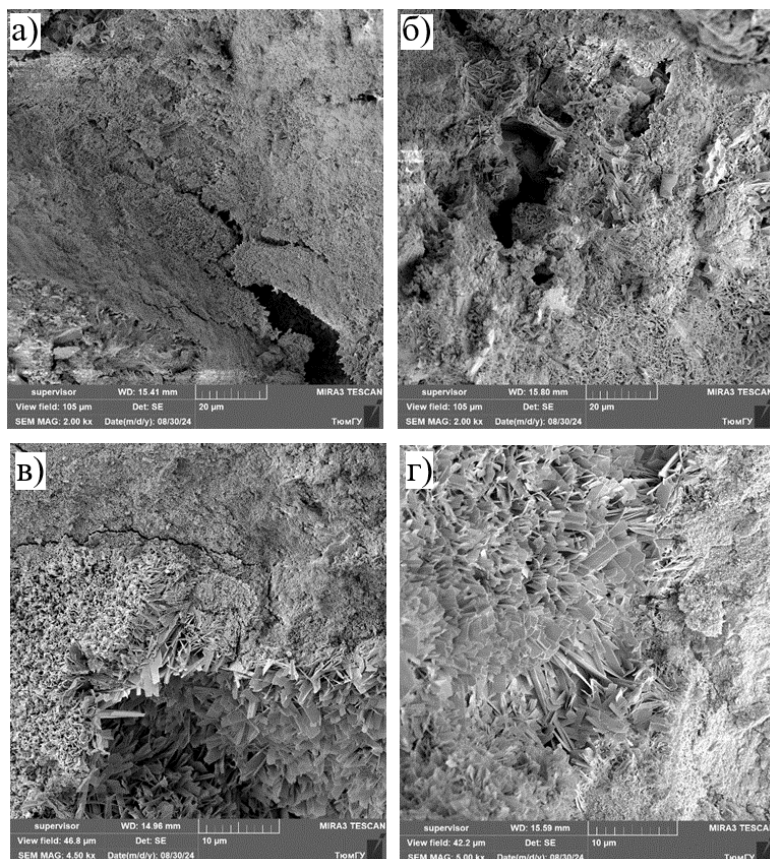


Рис. 4. Микроструктура силикатного бетона после 8 циклов попеременного увлажнения-высушивания в растворах хлорида натрия
а) в 5%-ном растворе (увеличение в 20 000 раз);
б) в 20%-ном растворе (увеличение в 20 000 раз);
в) в 5%-ном растворе (увеличение в 50 000 раз);
г) в 20%-ном растворе (увеличение в 50 000 раз);

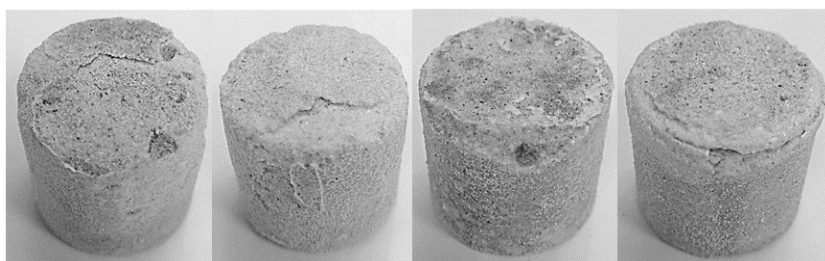


Рис. 5. Шелушение поверхности образцов после 24 циклов увлажнения-высушивания в 20%-м растворе хлорида натрия

Во влажном состоянии первое снижение прочности вне зависимости от исходной концентрации раствора наблюдалось после 4 циклов увлажнения-высушивания и для раствора 5%-ной концентрации оно составило 18–25 %, а для раствора 20%-ой концентрации – 23–32 %. После этого происходит увеличение прочности до 12 и до 16 циклов попеременного увлажнения-высушивания для 5%-ти и

20%-ти процентной концентрации растворов соответственно. Увеличение прочности объясняется тем, что при накоплении солей в порах бетона, при последующем увлажнении не происходит ее полное растворение и уплотнение структуры все же происходит. Увеличение прочности образцов после воздействия 5%-го раствора NaCl составило 24–31 %, а 20%-го – 38–77 %. При воздействии 5%-го раствора

NaCl наблюдается второе незначительное снижение прочности после 20 циклов увлажнения-высушивания, совпадающее с появлением первых трещин в бетоне. Значительное увеличение прочности силикатного бетона после 16 циклов увлажнения-высушивания, при воздействии 20%-го раствора NaCl и отсутствие

второй волны падения прочности объясняется тем, что быстрая кольматация пор приводит к тому, что агрессивный раствор не проникает в структуру бетона при замачивании образцов, т.е. они находятся в практически сухом состоянии [9].

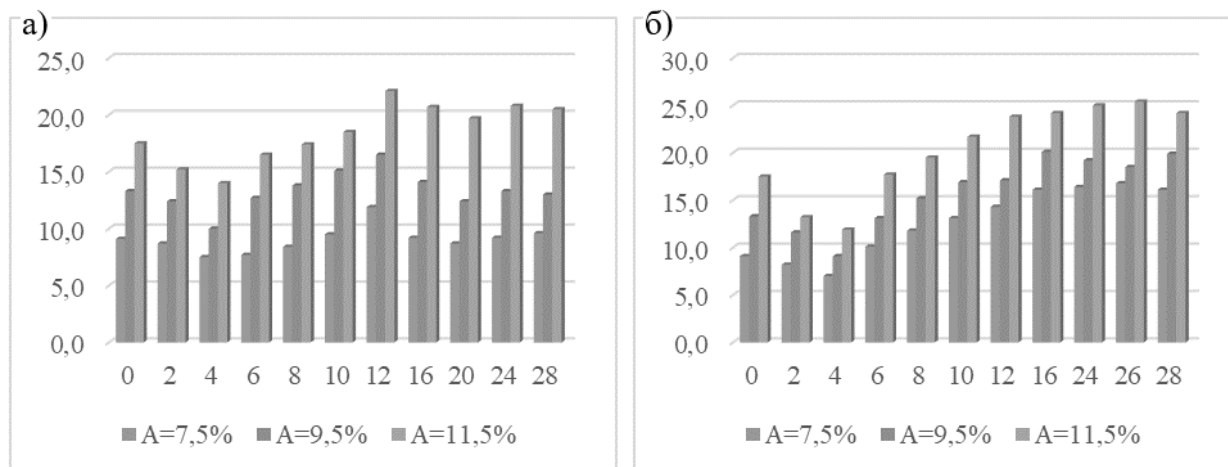


Рис. 6. Влияние растворов хлорида натрия на прочность при сжатии силикатного бетона во влажном состоянии при воздействии попеременного увлажнения-высушивания а) концентрация раствора 5 %; б) концентрация раствора 20 %

Заключение

1. При циклическом воздействии растворов солей натрия на силикатный бетон происходит волнообразное изменение его прочности при сжатии. Периоды роста прочности чередуются с периодами ее снижения, что объясняется чередующимся уплотнением структуры бетона в результате кольматации его пор отложениями солей, с постепенным нарастанием кристаллизационного давления, приводящего к образованию микродефектов и микротрещин, которые в последствии сами выполняют роль микропор и вновь заполняются кристаллизующимися из растворов агрессивными веществами.

2. Максимальное снижение прочности силикатного бетона достигается, когда он находится в увлажненном состоянии и, не зависимо от исходной концентрации солевого раствора, проявляется через 4 цикла попеременного увлажнения-высушивания. В этот период визуально видимого разрушения образцов при испытании еще не наблюдается. Однако, в реальных условиях эксплуатации, первые 4 цикла увлажнения-высушивания силикатного кирпича будет происходить в весеннее время, после первого наступления положительных температур. При этом на материал будет дополнительно воздействовать комплекс негативных воздействий, таких как поперемен-

ное замораживание-оттаивание, нагрузка от вышележащих слоев кладки, ветровые воздействия, механические воздействия инструмента при уборке пешеходных дорожек и т.д. В таких условиях значительное снижение прочности бетона несомненно может привести к нарушению целостности материала и его разрушению.

3. Изменение прочности силикатного бетона при воздействии растворов хлорида натрия происходит пропорционально их первоначальной прочности. Количество образцов бетона с наибольшей исходной прочностью, имеющих видимые дефекты даже после 28 циклов попеременного увлажнения-высушивания минимально. Следовательно, увеличение долговечности кладки из силикатного кирпича при воздействии антиобледенителей возможно путем увеличения прочности применяемого силикатного кирпича.

4. Концентрация солевого раствора, оказывает влияние на скорость возникновения дефектов, в том числе и в виде шелушения наружной поверхности образцов силикатного бетона, подвергнутых попеременному увлажнению-высушиванию. Отслоение наружного слоя бетона в виде тонких пластинок происходит в результате значительного уплотнения его поверхности, по сравнению с внутренними слоями. Однако, внутренние слои по-прежнему

способны воспринимать механические нагрузки, снижения прочности образцов ниже первоначальной не зафиксировано. На основании этого можно сделать вывод, что при появлении первых признаков шелушения силикатного кирпича в результате воздействия хлористого натрия, для остановки протекания коррозионного процесса и не допущения дальнейшего разрушения кладки необходимо удалить раз-

рушенные слои, промыть водой соседние горизонтальные и вертикальные поверхности, просушить кладку и обработать оголенную поверхность гидрофобизатором. При значительном повреждении, визуальном ухудшающем внешний вид лицевой кладки, выполнить ее восстановление любым приемлемым способом.

Список литературы

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
2. Степанова В. Ф. Долговечность бетона: учебное пособие. М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 124 с.
3. Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 82–85.
4. Леонович С. Н. Механика долговечности конструкционного бетона: новый подход к явлению деградации. часть 1. Усадка // Строительные материалы. 2024. № 1–2. С. 74–78.
5. Физические особенности проблем жидкостной коррозии железобетона с позиций теории тепломассопереноса / С. В. Федосов, И. В. Красильников, В. Е. Румянцева [и др.] // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19. № 4. С. 392–409.
6. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Методы математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах М.: АСВ, 2021. 244 с.
7. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона: учебное пособие. М.: АСВ, 2003. 191 с.
8. Чернышов Е. М., Попов В. А., Артамонова О. В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 5. Эффективное микро-, наномодифицирование систем гидротермально-синтезного твердения и структуры силикатного камня (критерии и условия) // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 38–46.
9. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954 г. 298 с.
10. Моделирование динамики массопереноса в процессах жидкостной коррозии цементных бетонов с учетом явления коагуляции / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева,

В. С. Коновалова [и др.] // Строительные материалы. 2020. № 6. С. 27–32.

References

1. *Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zashhity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection] / V. M. Moskvina, F. M. Ivanov, S. N. Alekseev [et al.]. Moscow: Strojizdat, 1980. 536 p.
2. *Stepanova V. F. Dolgovechnost' betona: uchebnoe posobie* [Durability of concrete: a textbook]. Moscow, Vologda : Infra-Inzhenerija, 2023. 124 p.
3. *Rozental' N. K., Stepanova V. F., Chehnij G. V. O maksimal'no dopustimom sodержanii hloridov v betone* [About maximum admissible content of chlorides in concrete]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 1–2, pp. 82–85.
4. *Leonovich S. N. Mehanika dolgovechnosti konstrukcionnogo betona: novyj podhod k javleniju degradacii. chast' 1. Usadka* [Mechanics of durability of structural concrete: a new approach to the phenomenon of degradation. Part 1. Shrinkage]. *Stroitel'nye materialy*, 2024, issue 1–2, pp. 74–78. DOI: 10.31659/0585-430X-2024-821-1-2-74-78.
5. *Fizicheskie osobennosti problem zhidkostnoj korrozii zhelezobetona s pozicij teorii teplomassoperenosa* [Physical features of the problems of liquid corrosion of reinforced concrete from the standpoint of the theory of heat and mass transfer] / S. V. Fedosov, I. V. Krasil'nikov, V. E. Rumjanceva [et al.]. *Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, 2023, vol. 19, issue 4, pp. 392–409. DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-4-392-409.
6. *Fedosov S. V., Rumjanceva V. E., Krasil'nikov I. V. Metody matematicheskoj fiziki v prilozhenijah k problemam korrozii betona v zhidkih agressivnyh sredah* [Methods of mathematical physics in applications to the problems of concrete corrosion in liquid aggressive media]. Moscow: ASV, 2021. 244 p.
7. *Fedosov S. V., Bazanov S. M. Sul'fatnaja korrozija betona: uchebnoe posobie* [Sulfate corrosion of concrete: a textbook]. Moscow: ASV, 2003. 191 p.

8. Chernyshov E. M., Popov V. A., Artamonova O. V. *Koncepcii i osnovanija tehnologij nanomodificirovanija struktur stroitel'nyh kompozitov. Chast' 5. Jeffektivnoe mikro-, nanomodificirovanie sistem gidrotermal'no-sinteznogo tverdenija i struktury silikatnogo kamnja (kriterii i uslovija)* [Concepts and substantiations of nanomodification technology of building composites structures. Part 5. Efficient micro-, nanomodification of hydrothermal-synthesis hardening systems and structure of silicate stone (criteria and conditions)]. *Stroitel'nyye materialy*, 2016, issue 9, pp. 38–46.

9. Lykov A. V. *Javlenija perenosa v kapillarno-poristyh telah* [Transfer phenomena in capil-

lary-porous bodies]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo tehniko-teoreticheskoy literatury, 1954. 298 p.

10. *Modelirovanie dinamiki massoperenosa v processah zhidkostnoj korrozii cementnyh betonov s uchetom javlenija koll'matacii* [Modeling of mass transfer dynamics in the processes of liquid corrosion of cement concretes with due regard for the phenomenon of colmatation] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, V. S. Konovalova [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2020, issue 6, pp. 27–32. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-781-6-27-32.

Румянцева Варвара Евгеньевна

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

профессор кафедры естественнонаучных дисциплин

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

директор Института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук,

зав. кафедрой естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

professor of the department of natural sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State

Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

director of the Institute of information technology, natural sciences and humanities, head of the department

of natural sciences and technosphere safety

E-mail: varrym@gmail.com

Панченко Юлия Федоровна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Panchenko Luliia Fyodorovna

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Панченко Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Российская Федерация, г. Тюмень

старший преподаватель кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Panchenko Dmitrii Alekseevich

Tyumen Industrial University
Russian Federation, Tyumen
Senior Lecturer of the Construction Materials Department
E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Нармания Борис Евгеньевич

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

Narmania Boris Evgenievich

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

УДК 666.9-13 : 691.335

ЖАРОСТОЙКИЙ БЕТОН ДЛЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, А. А. ОВЧИННИКОВ², Д. В. ОБРУЧЕВ¹, И. А. ХОДОВА²

¹Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

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

E-mail: varrym@gmail.com, nisigasa@mail.ru, d.v.obruchev@i-meb.ru, hodova_irina@bk.ru

В статье приводятся результаты исследований возможности применения жаростойкого бетона для огнезащиты строительных конструкций и повышения их огнестойкости. Установлено, что для огнезащитных покрытий наиболее эффективен жаростойкий бетон на жидком стекле, так как обладает высокой адгезией к строительным конструкциям, повышенной термостойкостью, высокой трещиностойкостью при первом нагреве и охлаждении. Авторами предложены результаты математического моделирования зависимости прочностных характеристик жаростойкого вяжущего от состава, даны оптимальные составы жаростойкого бетона. Представлены результаты рентгенофазового и дерева-тографических анализов полученного композита до и после первого обжига. Даны теплотехнические характеристики полученного бетона, приведены результаты моделирования прогрева бетонной конструкции при пожаре без и с защитным покрытием из жаростойкого бетона.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, огнезащита, композиционные материалы, строительные материалы, строительные конструкции, моделирование.

HEAT RESISTANT CONCRETE FOR FIREPROOFING COATINGS OF BUILDING STRUCTURES

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, A. A. OVCHINNIKOV², D. V. OBRUCHEV¹, I. A. KHODOVA²

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

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

E-mail: varrym@gmail.com, nisigasa@mail.ru, d.v.obruchev@i-meb.ru, hodova_irina@bk.ru

The article presents the results of studies of the possibility of using heat-resistant concrete for fire protection of building structures and increasing their fire resistance. It has been found that heat-resistant concrete on liquid glass is the most effective for fireproof coatings, since it has high adhesion to building structures, increased heat resistance, and high crack resistance during the first heating and cooling. The authors proposed the results of mathematical modeling of the dependence of the strength characteristics of heat-resistant binder on the composition, the optimal compositions of heat-resistant concrete are given. The results of X-ray phase and derevatographic analyses of the obtained composite before and after the first firing are presented. The thermal characteristics of the obtained concrete are given, the results of modeling the heating of a concrete structure in a fire without and with a protective coating of heat-resistant concrete are given.

Key words: heat-resistant concrete, fireproofing, composite materials, building materials, building structures, modeling.

Для железобетонных конструкций зданий и сооружений, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных технологических температур от 50 до 200 °С включительно, а также тепловых агрегатов из жаростойкого бетона, которые эксплуатируются при температурах свыше 200 до 1400 °С, при проектировании предъявляются специальные требования к материалам, обеспечивающие стойкость конструкции к тепловым воздействиям, сформулированные в Своде правил СП 27.13330.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур»¹. В отличие от них, для обеспечения требования к огнестойкости конструкций промышленных зданий и сооружений, работающих в обычных условиях², проектировщик самостоятельно определяет методы обеспечения огнестойкости³. Одним из актуальных методов повышения огнестойкости типовых строительных конструкций, является применение жаростойких покрытий по поверхности конструкции. Такие покрытия должны обеспечивать увеличение времени прогрева конструкций до критических температур, либо вовсе предотвращать разогрев конструкции. Сами покрытия должны иметь достаточную стойкость к высокотемпературному воздействию, чтобы после такого воздействия сохраняли свои защитные свойства.

Одним из перспективных материалов для производства огнезащитных покрытий является жаростойкий бетон. Жаростойкие бетоны хорошо изучены, разработано множество составов на различных видах вяжущего и заполнителях, для различных условий эксплуатации и различного назначения [1]. Однако жаростойкий бетон, который мог бы быть применен для изготовления огнеупорных покрытий, должен обладать рядом специфических свойств, таких как высокая адгезия к металлическим и железобетонным конструкциям, повышенная термостойкость, обеспечение эффективной огнезащиты и предотвращение растрескивания при первом нагреве и охлаждении, с обнажением защищаемой конструкции [2]. Кроме того,

бетонная смесь должна иметь подвижность и другие формовочные свойства, обеспечивающие ее нанесение на существующие типовые строительные конструкции. Не все из существующих жаростойких бетонов удовлетворяют таким требованиям. Наилучшим сочетанием технологических и физико-механических свойств обладает жаростойкий бетон на жидком стекле. Бетонная смесь на жидком стекле имеет регулируемые сроки схватывания, управляемую подвижность, высокую адгезию ко всем конструкционным материалам, возможность применения механизированного нанесения на защищаемую поверхность. После твердения в короткие сроки обеспечивает высокую прочность покрытия, способность сохранять свои физико-механические характеристики до температур 1100–1200 °С [3–6].

Для разработки оптимального состава жаростойкого бетона на жидком стекле, который может быть применен в качестве средств огнезащиты, были проанализированы методы отверждения жидкого стекла. Твердение гидросиликата натрия, обусловлено способностью силикатных связей к полимеризации с образованием кремнийполимерного каркаса объемной сетчатой структуры с ячейками $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$, при удалении гидро-кислородных групп $\equiv\text{Si-O}[\text{H HO}]\text{-Si}\equiv$ [7]. В качестве силикатной связи было применено товарное содовое жидкое стекло с силикатным модулем 2,65–3,0 и плотностью 1,4–1,5 г/см³. Изменение устойчивости системы, приводящей к полимеризации геля кремневой кислоты, можно спровоцировать введением в нее веществ, содержащих ионы коагулянты геля кремнекислоты – катионы кальция. Источником ионов кальция могут эффективно выступать гранулированные и отвалы металлургических шлаков. Было проведено исследование возможности применения в качестве отвердителей рассыпавшегося при силикатном распаде феррохромового, гранулированного и отвалного шлаков. Химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав шлаков

Шлак	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cr ₂ O ₃	ППП
Гранулированный	42,86	4,57	0,91	44,8	3,68	3	-	0,58
Отвальной	35,7	10,74	1,19	44,22	4,74	3,47	-	0,28
Феррохромовый	28,3	7,1	0,58	51,28	7,52	-	3,5	0,89

¹ Свод правил СП 27.13330.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур». Актуализированная редакция СНиП 2.03.04.84 (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 15 мая 2017 г. N 786/пр) (с изменениями и дополнениями).

² Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

³ Свод Правил СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»;

Для придания вяжущему жаростойких свойств, была применена огнеупорная добавка способная связывать легкоплавкий силикат натрия в более огнеупорные минералы – шамот производства АО «Подольскогнеупор» с тонкостью помола до остатка на сите № 008

20 %. Для каждого из шлаков той же тонины формовались образцы-кубы с ребром 30 мм и проводились испытания прочности после нормально твердения и после обжига. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Зависимость предела прочности при сжатии от вида шлака и состава смеси

Шлак / вид испытания	Прочность, МПа				
	Отношение объема жидкого стекла, мл, к массе шлака, г				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Гранулированный / нормальное твердение	1,28	10,02	22,62	17,74	14,52
Гранулированный / обжиг	2,71	15,72	41,57	59,35	50,23
Отвальный / нормальное твердение	8,25	9,25	16,54	15,2	11,8
Отвальный / обжиг	11,59	17,25	35,29	54,91	34,05
Феррохромовый / нормальное твердение	13,56	15,56	10,88	9,25	5,55
Феррохромовый / обжиг	7,12	10,64	7,58	8,25	7,41

Состав на доменном гранулированном шлаке производства ОАО «Тулачермет», при соотношении жидкое стекло:шлак:шамот 1:1:0,5 дал наиболее высокие показатели прочности и был принят, как основа для создания жаростойкого бетона. Принятый состав имеет короткие сроки схватывания, которые зависят, в том числе, от щелочности среды. Регулировать сроки схватывания можно введением в систему «шлак жидкое стекло» едкого натра, который стабилизирует гель кремнекислоты, а также способствует более полному растворению минералов шлака. Как показали исследования, оптимальной концентрацией раствора гидроокиси натрия является 40 %, количество варьируется от 0,05 до 0,4 % массы шлака.

Оптимизация состава, вяжущего по прочности, был спланирован и проведен активный факторный эксперимент второго порядка для трех переменных. Были получены уравнения регрессии (1–2), связывающие между собой прочность при нормальном твердении и после обжига с расходом компонентов.

$$Y = 28,88 + 5,05X_1 + 4,4X_3 - 14,98X_1^2 + 8,04X_2^2 - 4,77X_3^2 + 3,6X_1X_3 - 3,37X_1X_2, \quad (1)$$

$$Y^t = 33,67 + 7,53X_1 + 5,03X_2 + 2,73X_3 - 14,35X_1^2 + 1,75X_2^2 - 0,89X_3^2 + 5,6X_1X_3 - 3,19X_1X_2, \quad (2)$$

где X_1 – жидкое стекло, X_2 – раствор NaOH, X_3 – тонкомолотый шамот, Y – прочность при сжатии при нормальном твердении, Y^t – прочность при сжатии после обжига

В качестве заполнителя для создания бетона, предназначенного для нанесения на строительные конструкции в качестве огнезащиты, могут выступать любые огнеупоры, отвечающие требованиям ГОСТ 23037-22 «Заполнители огнеупорные. Технические условия». Однако грануло-метрические параметры заполнителя должны обеспечивать возможность нанесения бетонной смеси на сложные поверхности и достаточно тонкими слоями. Поэтому в качестве заполнителя была применена оптимизированная с точки зрения плотности упаковки зерен смесь высокоалюминатного шамота с максимальным размером зерен 5,0 мм. Такое решение приводит к значительному снижению подвижности бетонной смеси на этапе формования. Для решения этой проблемы был применен суперпластификатор С-3 в количестве 0,75 % от массы активных веществ, который позволил получить смесь с подвижностью на вискозиметре Суттарда 160–210 мм, достаточной для механизированного и ручного нанесения на строительные конструкции.

Химический анализ полученного композита, был проведен при помощи рентгеновского дифрактометра ДРОН-3. В результате установлено, что оптимизированный жаростойкий бетон имеет хорошо закристаллизованную структуру, где кроме алюмосиликатов и двухкальциевого силиката шлака, присутствуют минералы низкоосновных гидросиликатов кальция: С-S-H(I), С-S-H(II), гиролит – $2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$ и трускоттит – $6CaO \cdot 10SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($CaO_2SiO_2 \cdot 0,5H_2O$).

Рентгенограмма бетона после обжига содержит минералы, принадлежащие шамоту

и анортиту, кальциевому полевому шпату – $\text{CaOAl}_2\text{O}_2\text{SiO}_2$, появившемуся в результате спекания. Плавни, содержащиеся в бетоне, связываются тонкомолотой шамотной добавкой в полевой шпат, β -альбит – $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\text{6SiO}_2$. Температура плавления альбита составляет 1118°C , что, как можно предположить, может быть предельной температурой применения бетона.

Дериватографический анализ, рис. 1, показывает наличие эндоэффектов, связанных как с сушкой, пики которой приходятся на 40 и 221°C , так и дегидратацией кристаллогидратов и перекристаллизацией новообразований, разложением силикатов кальция в волластонит и процессами спекания, эффекты 643°C , 811°C . Общая потеря массы вяжущего составляет $5,72\%$. Из удаленной в процессе исследования массы, наиболее интенсивно теряется масса в период от 26 до 350°C и со-

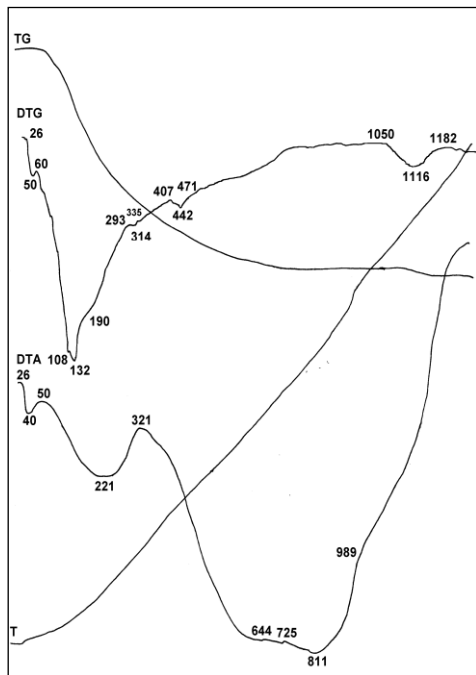


Рис. 1. Дериватограмма жаростойкого бетона до обжига

Теплофизические характеристики разработанного жаростойкого бетона значительно зависят от расхода заполнителя, количество которого может варьироваться в зависимости от необходимой марки бетона по прочности и требуемой подвижности бетонной смеси. Также, теплотехнические характеристики бетона зависят от плотности, которая в свою очередь меняется в результате первого обжига. В

ставляет $62,37\%$ от общих потерь. Менее интенсивно теряется еще $25,74\%$ от общих потерь массы в период от 350 до 700°C . Остальные $11,88\%$ потерь приходятся на период от 1050 до 1500°C , связанные с разложением минералов вяжущего.

Дериватограмма бетона после первого обжига, рис. 2, обнаружила пик который приходится на 50°C , связан с потерями тепла на удаление адсорбционной воды. К удалению физической воды можно отнести и единственный эффект ДТГ приходящийся на интервал температур от 25 до 115°C . Более крупный эндоэффект, приходящийся на интервал от 345 до 982°C , связан, вероятнее всего, с продолжающимися процессами спекания. Общая потеря массы составила $0,5\%$, и вся она связана с удалением в первый период прогрева адсорбционной воды.

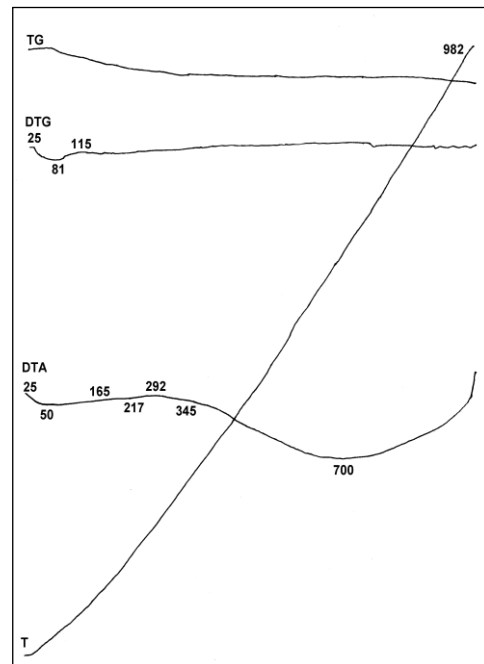


Рис. 2. Дериватограмма жаростойкого бетона после обжига

среднем плотность оптимального состава бетона до обжига составляла $1850\text{--}1950\text{ кг/м}^3$, после обжига снижалась до $1450\text{--}1550\text{ кг/м}^3$. Установлены значения теплопроводности для необожженного бетона при температуре 20°C составляет $1,3\text{--}1,4\text{ В/}^\circ\text{Км}$, после обжига $0,65\text{--}0,75\text{ В/}^\circ\text{Км}$, теплоемкости до обжига $1468\text{--}1470\text{ Дж/кг}^\circ\text{К}$, после обжига $950\text{--}970\text{ Дж/кг}^\circ\text{К}$.

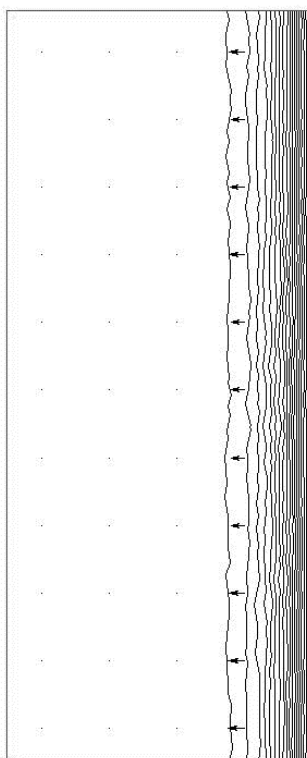


Рис. 3. Прогрев конструкции без защитного слоя на 1800 секунде

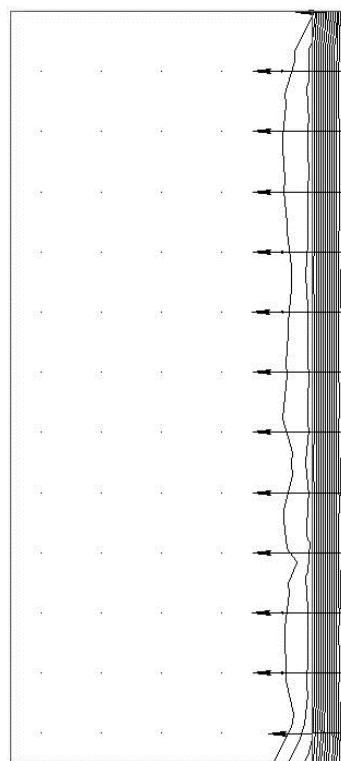


Рис. 4. Прогрев конструкции с защитным слоем на 1800 секунде

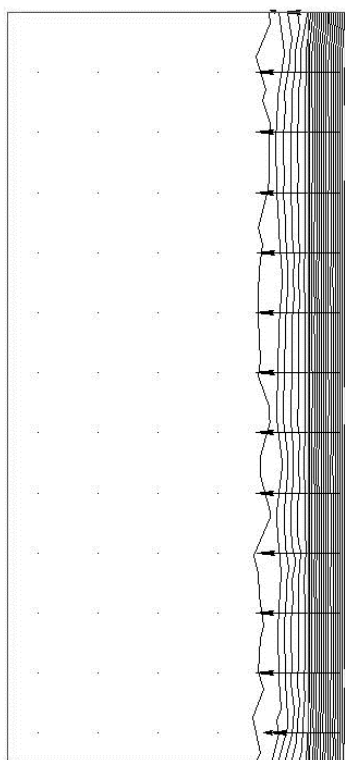


Рис. 5. Прогрев конструкции с защитным слоем на 3600 секунде

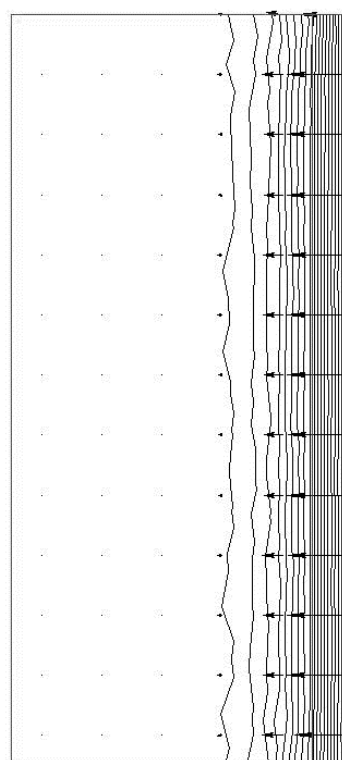


Рис. 6. Прогрев конструкции с защитным слоем на 7200 секунде

Исходя из приведенных данных, было проведено предварительное моделирование изменения температуры в защищаемой конструкции толщиной 400 мм на глубине защитного слоя, принятого в 20 мм, под слоем покрытия из разработанного жаростойкого бетона толщиной 50 мм. Моделирование проводилось в программе ELCUT 6.6 методом конечных элементов для нестационарного теплопереноса. Моделировалась передача тепла от пламени пожара, которая идет за счет конвекции и излучения. Коэффициент конвекции 25 Вт/м²С, чернота поверхности бетона 0.7. Формула стандартного режима пожара по ISO 834-1:1999 (3).

$$T(t) = T_0 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad (3),$$

где t – время в минутах, а $T_0 = 20^\circ\text{C}$ – это начальная температура.

Изменение теплоемкости и теплопроводности жаростойкого бетона задавалась ли-

нейной аппроксимацией. Задача решалась для момента времени в 1800, 3600 и 7200 секунд (рис. 3–6).

Не защищенный бетон уже на 1800 секунде имеет прогрев на глубине защитного слоя в $444,26^\circ\text{C}$, что приведет к разрушению бетона и разогреву арматуры. Незащищенная конструкция разрушится. Защищенный бетон имеет температуру на той же глубине в 43,47, 163,31 и $342,66^\circ\text{C}$ на 1800, 3600 и 7200 секундах соответственно.

Таким образом, предложенный состав жаростойкого бетона, примененный в качестве защитного покрытия способен повысить огнестойкость конструкции в 4 раза. При этом прочностные характеристики жаростойкого бетона увеличатся, а теплопроводность покрытия снизится, тем самым обеспечив дальнейшую защиту конструкции, подвергшуюся тепловому воздействию.

Список литературы

1. Тарасов Р. В., Макарова Л. В., Калинина В. А. Анализ состояния производства жаростойких композиционных материалов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/02/46518> (дата обращения: 01.08.2024).
2. Леденев А. А., Перцев В. Т., Загоруйко Т. В. Оценка эффективности термостойких бетонов применяемых в качестве средств огнезащиты железобетонных конструкций // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 4 (17). С. 53–59.
3. Зелиг М. П., Радаев С. С., Юмина В. А. Жаростойкие бетоны на жидком стекле // Евразийский союз ученых. 2014. № 8–5. С. 41–43.
4. Хлыстов А. И., Горюшинский И. В., Власов А. В. Жаростойкие бетоны на жидком стекле повышенной долговечности // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 4-5. С. 22–27.
5. Бочинская В. А. Исследование влияния защитных покрытий на основе жидкого стекла на угар жаростойких сталей // XXIV Региональная конференция молодых учёных и исследователей Волгоградской области: сборник материалов конференции. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2020. С. 188–189.
6. Овчинников А. А. Разработка составов жаростойкого бетона на жидком стекле с суперпластификатором: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Иваново, 2003. 138 с.

7. Замятин С. Р., Пургин А. К. Хорошавин Л. Б. Огнеупорные бетоны. Справочник. М.: Металлургия, 1982. 192 с.

References

1. Tarasov R. V., Makarova L. V., Kalinina V. A. Analiz sostoyaniya proizvodstva zharostojkix kompozicionny`x materialov [Analysis of the state of production of heat-resistant composite materials]. *Sovremenny`e nauchny`e issledovaniya i innovacii*, 2015. № 2. issue 1 [Electronic resource]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/02/46518> (access date: 01.08.2024).
2. Ledenev A. A., Pertsev V. T., Zagoruyko T. V. Ocenka e`ffektivnosti termostojkix betonov primenyaemy`x v kachestve sredstv ognезashhity` zhelezobetonny`x konstrukcij [Evaluation of the Effectiveness of Heat-Resistant Concretes Used as Fire Protection Means for Reinforced Concrete Structures]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii*, 2015, vol. 4 (17), pp. 53–59.
3. Zelig M. P., Radaev S. S., Yumina V. A. Zharostojkie betony` na zhidkom stekle [Heat-resistant concrete on liquid glass]. *Evrazijskij sojuz ucheny*, 2014, vol. 8-5, pp. 41-43.
4. Khlystov A. I., Goryushinsky I. V., Vlasov A. V. Zharostojkie betony` na zhidkom stekle povыshennoj dolgovechnosti [Heat-resistant concrete on liquid glass of increased durability]. *Ogneupory` i texnicheskaya keramika*, 2013, vol. 4-5, pp. 22–27.
5. Bochinskaya V. A. Issledovanie vliyaniya zashhitny`x pokry`tij na osnove zhidkogo stekla na ugar zharostojkix stalej [Study of the effect of

protective coatings based on liquid glass on the loss of heat-resistant steels]. *XXIV Regional'naya konferenciya molody`x uchyony`x i issledovatelej Volgogradskoj oblasti: sbornik materialov konferencii*. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet, 2020. Pp. 188–189.

6. Ovchinnikov A. A. Razrabotka sostavov zharostojkogo betona na zhidkom stekle s super-

plastifikatorom. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of compositions of heat-resistant concrete on liquid glass with superplasticizer. Cand. tech. sci. dis.]. Ivanovo, 2003. 138 p.

7. Zamyatin S. R., Purgin A. K., Khoro-shavin L. B. *Ogneuporny`e betony`*. *Spravochnik* [Refractory concretes. Handbook]. Moscow: Metallurgiya, 1982. 192 p.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

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

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyanceva Varvara Evgen`evna

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

Corresponding Member of the RAASN, doctor of technical sciences, professor

E-mail: varrym@gmail.com

Овчинников Александр Александрович

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: nisigasa@mail.ru

Ovchinnikov Aleksandr Aleksandrovich

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: nisigasa@mail.ru

Обручев Дмитрий Витальевич

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

аспирант

E-mail: d.v.obruchev@i-meb.ru

Obruchev Dmitrij Vital`evich

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

postgraduate student

E-mail: d.v.obruchev@i-meb.ru

Ходова Ирина Анатольевна

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

старший преподаватель

E-mail: hodova_irina@bk.ru

Khodova Irina Anatol'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

senior lecturer

E-mail: hodova_irina@bk.ru

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

УДК: 504.05:621.039.7

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ
В ОЧАГЕ ЯДЕРНОГО ПОРАЖЕНИЯ**

О. Г. ЗЕЙНЕТДИНОВА, П. В. ДАНИЛОВ, А. К. КОКУРИН
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: zeinet@bk.ru

Авторами на основе существующих методик разработана модель оценки радиационной обстановки в очаге ядерного поражения. Созданная на основании данной модели программа для ЭВМ может быть использована как в учебном процессе, в том числе при выполнении выпускной квалификационной работы, так и в деятельности оперативных подразделений МЧС России.

Ключевые слова: моделирование радиационной обстановки, обучающая программа, радиационная безопасность, ядерный удар, радиация, прогнозирование радиационной обстановки, очаг ядерного поражения, регламенты проведения аварийно-спасательных работ.

**MODELING THE RADIATION SITUATION
IN THE CENTER OF A NUCLEAR DISASTER**

O. G. ZEYNETDINOVA, P. V. DANILOV, A. K. KOKURIN
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: zeinet@bk.ru

The authors have developed a model for assessing the radiation situation in a nuclear lesion based on existing methods. The computer program created on the basis of this model can be used both in the educational process, including when performing final qualification work, and in the activities of operational units of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

Keywords: simulation of the radiation situation, training program, radiation safety, nuclear strike, radiation, forecasting of the radiation situation, the focus of nuclear damage, regulations for emergency rescue operations.

Объективная оценка тенденции развития международных отношений со сломом межгосударственных договорённостей, с разрушением механизмов взаимной безопасности показывает, что угроза применения ядерного оружия становится всё более реальной. 2022 год стал своего рода Рубиконом для перехода к новому миропорядку, в котором кардинальным образом изменилось отношение к ведению боевых действий в общем и возможности применения ядерного оружия, в частности. В

апреле 2022 года глава МИД РФ С. Лавров заявил о реальности ядерной войны, в 2023 году Россия приостановила участие в Договоре по сокращению стратегических наступательных вооружений, в сентябре 2024 года В. Путин внес предложение об изменениях в ядерной доктрине РФ¹ в Тезисах постоянного совещания Совбеза по ядерному сдерживанию (25.09.2024)².

© Зейнетдинова О. Г., Данилов П. В., Кокурин А. К., 2024

¹ Указ Президента РФ от 2 июня 2020 № 355 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области ядерного сдерживания».

² <http://www.kremlin.ru/events/president/news/75182>

С момента создания и первого и единственного опыта применения ядерного оружия при бомбардировках Хиросимы и Нагасаки многие годы этот вид оружия оценивался скорее не как средство ведения боевых действий, а как инструмент сокрушения экономического, человеческого и инфраструктурного потенциала той или иной страны. Долгие годы ядерное оружие рассматривалось как средство взаимного уничтожения двух сверхдержав – СССР и США – но в не меньшей степени оно оценивалось как мощный потенциал сдерживания. На этой концепции строилась теория ядерной зимы и прогнозы тотального уничтожения человечества.

Однако, в последние годы произошёл сдвиг в понимании опасности ядерного оружия. С одной стороны, ушёл страх перед применением зарядов большой мощности; с другой стороны, даже на уровне руководителей государств стала рассматриваться возможность использования тактического ядерного оружия и ядерных зарядов сверхмалой мощности.

Учитывая реальность угрозы применения ядерного оружия, прогнозирование обстановки в очаге ядерного поражения и обоснование комплекса мероприятий по обеспечению безопасности аварийно-спасательных формирований и населения является актуальной задачей [1].

При этом следует понимать, что из всех вариантов ведения войны с применением ядерного оружия при разработке алгоритмов оценки радиационной обстановки целесообразно рассматривать варианты, не относящиеся к тотальному поражению с применением всей мощи ядерных запасов, а применению точечных ядерных ударов по конкретным объектам. Наиболее вероятными считаются сценарии, где в качестве целей рассматриваются районы базирования воинских частей, аэродромы и крупные промышленные центры.

При этом моделирование радиационной обстановки в очаге ядерного поражения может быть направлено на реализацию нескольких разноплановых задач и соответственно временных периодов, к которым будет обращена полученная модель.

Внедренные на данный момент методики оценки радиационной обстановки основной целью ставят задачу обеспечения безопасности проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (далее – АСДНР) в очаге ядерного поражения [2, 3].

Владение основами моделирования и оценки радиационной обстановки в очаге ядерного поражения с целью обеспечения, прежде всего, собственной безопасности должны быть обязательным навыком при формировании профессиональных компетен-

ций будущих специалистов МЧС России. Эти навыки целесообразно отрабатывать на дисциплинах «Основы гражданской защиты», «Радиационная, химическая и биологическая защита» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» и специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность».

Для совершенствования образовательного процесса по вышеуказанной тематике нами была разработана обучающая программа «Расчет радиационной обстановки в очаге ядерного поражения» [4].

До последнего времени особое внимание было уделено разработке программ по оценке радиационной обстановки при авариях на мирных объектах атомной энергетики, в том числе АЭС. Поводом для этой тенденции послужил печальный опыт ликвидации аварий на чернобыльской АЭС и аварии на АЭС «Фукусима-1». Анализ существующих программ показал, что их основной задачей являлось прогнозирование зон радиоактивного заражения в привязке к конкретной местности (например, компьютерные программы визуализации радиационной обстановки «EasyRad», «Andreeva Planner» [5], «Программа визуализации и анализа радиационных данных» [6], «Программа для оценки и прогноза параметров радиационной обстановки» [7], «Система оценки радиационной обстановки при запроектной аварии на атомной станции» [8]. Другая категория программ решает иные конкретные узконаправленные задачи, например: «Анализ радиационных рисков» [9], «Оценка радиационного ущерба» [10]. Программы, ориентированные на объекты атомной энергетики, не могут быть использованы при расчете обстановки в очаге нанесения ядерного удара, так как в их основе лежат принципиально разные математические модели спада уровня радиации. На данный момент набор программ по оценке радиационной обстановки в очаге ядерного поражения, находящихся в свободном доступе, очень ограничен, и их функциональные возможности не позволяют оперативно оценить информацию, необходимую для принятия управленческих решений по обеспечению безопасности населения и аварийно-спасательных формирований.

На данный момент нет нормативных источников, содержащих методику оценки радиационной обстановки в очаге ядерного поражения. Мы разработали модель для расчёта радиационной обстановки, опираясь на справочную литературу по применению оружия массового поражения [11].

Разработанная программа для ЭВМ позволяет произвести расчеты на краткосрочный период после нанесения ядерного удара

(от момента нанесения ядерного удара до трёх месяцев) – период основного проведения АС-ДНР и мероприятий по эвакуации населения из зоны поражения.

Алгоритм оценки радиационной обстановки, послуживший основой для разработки программы, направлен на определение основных дозообразующих параметров и оценки эффективных доз общего внешнего гамма-излучения. Основная задача и конечная цель расчётов заключаются в профилактике детерминированных эффектов воздействия радиации. К такому относятся все последствия воздействия ионизирующего излучения, тяжесть которых напрямую зависит от дозы облучения; в первую очередь, речь идёт о профилактике лучевой болезни.

При моделировании мы учитывали несколько основополагающих моментов.

Нормами радиационной безопасности определяются пороговые дозы облучения в условиях мирного времени от техногенных источников³. Для экстремальных ситуаций военного времени, в условиях ликвидации последствий аварий на АЭС, ядерных реакторах и т.д. применяются пороговые значения доз, которые не приводят к снижению работоспособности коллектива, но которые существенно отличаются от пороговых доз в условиях мирного времени. В этих случаях могут иметь место однократные и многократные дозы облучения. Однократная эквивалентная доза, полученная в течение 1–4 суток, составляет 0,5 Зв. Многократная доза облучения в течение 1–30 суток составляет 1 Зв, в течение 3-х месяцев – 2 Зв и в течение года – 3 Зв [2].

Исходными данными для моделирования радиационной обстановки являются: вид взрыва, его мощность, расстояние от эпицентра взрыва до точки местности, для которой производятся расчёты, скорость среднего ветра в слое атмосферы от подстилающей поверхности до высоты подъёма верхней кромки облака на трассе его перемещения из района взрыва в рассматриваемую точку местности.

Модели параметров радиационной обстановки строились исходя из предположения, что ядерный взрыв может осуществляться при стандартных метеорологических условиях: стандартное атмосферное давление, среднестатистическое направление среднего ветра в районе гипотетического ядерного взрыва, отсутствие атмосферных осадков в зоне ожидаемых локальных радиоактивных выпадений. В качестве модельной мы брали скорость среднего ветра на высоте 10 м.

³ Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».

В алгоритме оценки радиационной обстановки в качестве главного опорного параметра принимается мощность дозы (уровень радиации) гамма-излучения на открытой местности. В связи с тем, что мы оцениваем возможность программы для прогнозирования на период, максимально приближенный ко времени взрыва, считаем, что для удобства в качестве эталонного времени и соответственно эталонного уровня радиации, от которых будут производиться все дальнейшие расчёты, целесообразно брать 1 час после нанесения ядерного удара. Удобство измерения уровня радиации на 1 час после взрыва в качестве исходного значения основано ещё и на том, что зонирование территорий в очаге ядерного поражения принято производить, исходя из мощности дозы на 1 час после взрыва. На территории в очаге ядерного поражения выделяют зоны: чрезвычайно опасного заражения (зона Г) с мощностью дозы (уровнем радиации) через 1 час после взрыва на внешней границе 8 Гр/час; опасного заражения (зона В) – 2,40 Гр/час; сильного заражения (зона Б) – 0,80 Гр/час; умеренного заражения (зона А) – 0,08 Гр/час^{4,5}.

Границы данных зон при наложении на карту для нас служили реперными точками при определении уровня радиации в любом месте на следе радиоактивного облака, что позволяет привязать рассчитываемую модель к конкретной местности и провести обоснование регламентов работы в условиях воздействия радиации для конкретного объекта.

Спад уровня радиации по времени стандартно рассчитывается по формуле Вей-Вигнера [12]:

$$P_t = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-n} \quad (1)$$

где P_t – уровень радиации на время t , Гр/час;
 P_0 – уровень радиации на начальный момент времени, Гр/час;
 t – время после взрыва, соответствующее P_t ;
 t_0 – время после взрыва, соответствующее P_0 ;
 n – показатель степени спада радиации, зависящий от изотопного состава радионуклидов.

⁴ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 42.0.03-2016 «Гражданская оборона. Правила нанесения на карты прогнозируемой и сложившейся обстановки при ведении военных конфликтов и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Условные обозначения».

⁵ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.0.05-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения».

Учитывая, что показатель степени спада является константной величиной на ограниченном промежутке времени, при расчётах доз радиации рекомендуется применять его реальные значения [13]. При прогнозировании радиационной обстановки мы не имеем такой возможности, поэтому используем коэффициенты, полученные в результате теоретического анализа [14]. Для временного интервала до трёх месяцев показатель степени спада радиации составляет 1,2. При моделировании радиационной обстановки для других временных периодов соответственно определяются следующие значения n : от 3 месяцев до 2 лет $n = 2,28$; от 2 до 4 лет – 0,94; от 4 до 20 лет – 0,35; от 20 до 50 лет – 1.

Большая часть обучающих методических указаний по оценке радиационной обстановки в своей основе содержит заранее рассчитанные коэффициенты. Например, вводятся таблицы с коэффициентом пересчёта уровня радиации на определённый момент времени относительно уровня радиации на 1 час после взрыва:

$$K_t = \left(\frac{t}{t_0}\right)^{-1,2} \quad (2)$$

Заранее сформированные таблицы в значительной степени упрощают расчёты элементарных задач с высокой степенью погрешности, но не используются при написании исходного кода программы для ЭВМ. Использование математической модели спада уровня радиации [6] значительно расширяет возможности оценки радиационной обстановки. С одной стороны, как мы уже говорили, значение показателя степени спада радиации является константным только на ограниченном промежутке времени. С другой стороны, математическое моделирование позволяет нам получить динамику изменения радиации на малых отрезках времени и соответственно определить дозу внешнего облучения за сравнительно короткий период нахождения в зоне. Например, если учитывать время реагирования аварийно-спасательных формирований [15, 16], и предположить, что время входа в радиоактивную зону составляет 3 часа после взрыва, то поглощённая доза, полученная спасателями за 15 минут нахождения на внешней границе зоны чрезвычайно опасного заражения составит 7,9 Гр; опасного заражения – 2,37 Гр; сильного заражения – 0,79 Гр; умеренного заражения – 0,08 Гр. Следует учесть, что пороговая поглощённая доза, провоцирующая развитие острой фазы лучевой болезни 1 степени составляет 1 Гр, второй – 2 Гр, третьей – 4 Гр,

четвертой – 6 Гр. То есть доза, полученная за пятнадцать минут нахождения на открытой местности на внешней границе зоны чрезвычайно опасного заражения, спровоцирует развитие лучевой болезни с 99 % вероятностью летального исхода.

Математическое моделирование позволяет более детально подойти к процессу разработки регламентов при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) в зоне радиоактивного заражения.

Возможности программы позволяют рассчитать дозу внешнего облучения (D) за любой промежуток времени, включая относительно короткие промежутки времени с учётом коэффициента ослабления:

$$D = 5P_0 (t_H^{-0,2} - t_K^{-0,2}) / K_{осл} \quad (3)$$

где t_H – время начала облучения, часы после взрыва;

t_K – время начала облучения, часы после взрыва;

$K_{осл}$ – коэффициент ослабления.

Используя функциональную зависимость продолжительности работы от заданной дозы, уровня радиации на момент входа, коэффициента ослабления и времени входа в радиоактивную зону, программа позволяет рассчитать продолжительность безопасной работы и соответственно определить количество смен с учетом длительности их нахождения в радиоактивной зоне и численность персонала, требуемого для выполнения всего объёма спасательных мероприятий.

Определение регламентов радиационной обстановки в очаге ядерного поражения в обязательном порядке должно проводиться с оценкой инженерной и пожарной обстановки. Эти расчёты определяют характер проведения АСДНР, их сложность и объём работы, а также маршруты ввода и время продвижения сил гражданской обороны к объектам АСДНР, а также уровни радиации в точках маршрута, по которому осуществляется передвижение [17].

Используя программу для ЭВМ, в основе которой лежит модель спада уровня радиации в очаге ядерного поражения, и зная объём задач, стоящих перед аварийно-спасательными формированиями, мы можем получить данные, необходимые для принятия управленческих решений по обеспечению безопасности реагирующих подразделений в очаге ядерного поражения при нанесении гипотетического ядерного удара определённой мощности. К расчётным данным будут относиться: мощность дозы на любой момент времени в

точках на следе радиоактивного облака, дозу внешнего облучения за определённый промежуток времени как на участке работы, так и на маршрутах ввода сил гражданской обороны к объектам проведения работ, оптимальные продолжительность работы и, соответственно, время входа и выхода рабочей смены из зоны радиоактивного заражения. Исходя из продолжительности и объёма работ можно рассчитать количество сил и средств, необходимых для проведения АСДНР [18].

В перспективе разработка и совершенствование программ для ЭВМ должны быть направлены на оценку радиационной обстановки на среднесрочный и долгосрочный периоды после применения ядерного оружия с перспективой деления территорий на зоны отчуждения, отселения, проживания с правом отселения, зоны радиационного контроля. Опыт проживания населения на территориях после ядерных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, применения тактического оружия в Сербии, формирования радиоактивного следа при испытании ядерного оружия на Семипалатинском полигоне показал острую необходимость в подобных разработках. Многолетний опыт ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС позволил адекватно, с учетом множества факторов, подойти к зонированию территорий [19]. Безусловно, данный опыт должен быть учтен при зонировании территорий после гипотетического применения ядерного оружия с учётом возможности дальнейше-

го проживания населения в радиоактивной зоне.

На данном этапе разработки и внедрения предложенная нами программа для ЭВМ «Расчет радиационной обстановки в очаге ядерного поражения» [4] решает несколько задач: 1) моделирование радиационной обстановки в очаге ядерного поражения; 2) на основе прогнозирования радиационной обстановки разработка регламентов безопасного нахождения аварийно-спасательных формирований в зоне нанесения ядерного удара; 3) разработка рекомендаций по реализации управленческих решений для обеспечения безопасности населения в зоне радиоактивного поражения при применении ядерного оружия, в частности, по применению средств коллективной защиты (использование бомбоубежищ, оборудование противорадиационных укрытий в жилых и производственных помещениях) с учётом их коэффициентов ослабления, определять время нахождения населения в защитных сооружениях, рассчитывать относительно безопасные маршруты эвакуации населения из зоны с чрезвычайной степенью поражения. Возможности данной программы позволяют использовать ее в качестве обучающей программы для курсантов и слушателей, а также для решения вышеперечисленных задач управления применительно к деятельности подразделений МЧС России (ЦУКС ГУ МЧС России по субъекту федерации).

Список литературы

1. Основы обеспечения безопасности населения при авариях на радиационно-опасных объектах / О. Г. Зейнетдинова, Е. С. Титова, К. В. Жиганов [и др.] // Актуальные вопросы пожаротушения. 2023. С. 52–57.
2. Пучков В. А. Гражданская оборона. М.: МЧС России, 2014. 484 с.
3. Угланова В. З. Оценка радиационной и химической обстановки в условиях техногенных и военных ЧС. Учебное пособие. Саратов: СГУ имени Н. Г. Чернышевского, 2017. 51 с.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024682667. Расчет радиационной обстановки в очаге ядерного поражения / П. В. Данилов, О. Г. Зейнетдинова; заявл. 10.09.2024; опублик. 26.09.2024, Бюл. № 10. 1 с.
5. Виртуальная реальность как инструмент повышения культуры безопасности при обращении с источниками ионизирующего

излучения / К. А. Чижов, А. В. Симаков, И. Сзоке [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2015. № 3 (60). С. 32–40.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613864. Программа визуализации и анализа радиационных данных / А. В. Цветков, Н. Е. Веремей; заявл. 12.01.2015; опублик. 20.04.2015, 1 с.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661331. Программа для оценки и прогноза параметров радиационной обстановки / И. Г. Акимова, Е. В. Антоний, В. В. Гайдуков [и др.]; заявл. 10.08.2018; опублик. 05.09.2018, Бюл. № 9. 1 с.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021614620. Система оценки радиационной обстановки при запроектной аварии на атомной станции / А. В. Рыбаков, Е. В. Иванов,

А. С. Гулин [и др.]; заявл. 19.03.2021; опубл. 26.03.2021. Бюл. № 4. 1 с.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684322. Анализ радиационных рисков / Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов, А. М. Библин; заявл. 08.12.2022; опубл. 13.12.2022. Бюл. № 12. 1 с.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022668684. Оценка радиационного ущерба / Р. Р. Ахматдинов, В. С. Репин, А. М. Библин [и др.]; заявл. 29.09.2022; опубл. 11.10.2022. Бюл. № 10. 1 с.

11. Вольнаев Ю. П. Справочник по поражающему действию ядерного оружия. Часть вторая. Выявление и оценка наземной радиационной обстановки. М.: Военное издательство МО СССР. 1975. 152 с.

12. Волошин Н. П., Дубасов Ю. В. Ядерные испытания СССР. Мирные ядерные взрывы. Обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. М.: Изд.АТ. 2001. 519 с.

13. Гордеев К. И. Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов: Методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. 112 с.

14. Лейпунский О. И. Гамма-излучение ядерного взрыва. М.: Атомиздат. 1959. 154 с.

15. Зейнетдинова О. Г., Смирнов В. М. Обоснование мероприятий по повышению уровня радиационной безопасности аварийно-спасательных работ в очаге ядерного поражения // Совершенствование вопросов антикризисного управления. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 11–15.

16. Зейнетдинова О. Г. Медикаментозная профилактика радиационных поражений у спасателей // Совершенствование вопросов антикризисного управления. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 14–18.

17. Зейнетдинова О. Г. Особенности оценки радиационной обстановки при чрезвычайных ситуациях на АЭС // Актуальные вопросы пожаротушения. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 85–88

18. Моделирование ситуационных задач по ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально-опасных объектах / П. В. Дани-

лов, А. К. Кокурин, А. О. Семенов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022, № 4 (45). с. 13–20.

19. Владимиров В. А., Измалков В. И., Измалко А.В. Радиационная и химическая опасность населения. М.: Деловой экспресс, 2005. 544 с.

References

1. Osnovy obespecheniya bezopasnosti naseleniya pri avariayah na radiacionno-opasnykh ob»ektah [Fundamentals of public safety in case of accidents at radiation-hazardous facilities] / O. G. Zejnetdinova, E. S. Titova, K. V. Zhiganov [et al.]. *Aktual'nye voprosy pozharotusheniya*, 2023, pp. 52–57.

2. Puchkov V. A. *Grazhdanskaya oborona* [Civil defense]. Moscow: MCHS Rossii, 2014. 484 p.

3. Glanova V. Z. *Ocenka radiacionnoj i himicheskoy obstanovki v usloviyah tekhnogennyh i voennyh ChS. Uchebnoe posobie* [Assessment of the radiation and chemical situation in man-made and military emergencies. Study guide]. Saratov: SGU imeni N. G. Chernyshevskogo. 217. 51 p.

4. Danilov P. V., Zejnetdinova O. G. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2024682667. Raschet radiacionnoj obstanovki v ochage yadernogo porazheniya [Calculation of the radiation situation in the center of nuclear destruction], byulleten № 10, 1 p.

5. Virtual'naya real'nost' kak instrument povysheniya kul'tury bezopasnosti pri obrashchenii s istochnikami ioniziruyushchego izlucheniya [Virtual reality as a tool for improving safety culture when dealing with ionizing radiation sources] / K. A. Chizhov, A. V. Simakov, I. Szőke [et al.]. *Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'*, 2015, vol. 3 (60), pp. 52–57.

6. Cvetkov A. V., Veremej N. E. Programma vizualizacii i analiza radiacionnyh dannyh [Radiation data visualization and analysis program], Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2015613864, opubl. 29.12.2020.

7. I. G. Akimova, E. V. Antonij, V. V. Gajdukov [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2018661331. Programma dlya ocenki i prognoza parametrov radiacionnoj obstanovki [A program for assessing and predicting the parameters of the radiation situation], byulleten № 9, 1 p.

8. A. V. Rybakov, E. V. Ivanov, A. S. Gul'in [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2021614620 Sistema ocenki radiacionnoj obstanovki pri zaproektnoj avarii na atomnoj stanci [Radiation situation assessment system in case of an out-of-design accident at a nuclear power plant], byulleten № 4, 1 p.
9. Ahmatdinov R. R., Ahmatdinov R. R., Biblin A. M. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2022684322. Analiz radiacionnyh riskov [Radiation risk analysis], byulleten № 12, 1 p.
10. R. R. Ahmatdinov, V. S. Repin, A. M. Biblin [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2022668684. Ocenka radiacionnogo ushcherba [Assessment of radiation damage], byulleten № 10, 1 p.
11. Volynaev Yu. P. *Spravochnik po porazhayushchemu dejstviyu yadernogo oruzhiya. Chast' vtoraya. Vyyavlenie i ocenka nazemnoj radiacionnoj obstanovki* [Handbook on the damaging effects of nuclear weapons. Part two. Identification and assessment of the ground-based radiation situation]. Moscow: Voennoe izdatel'stvo MO SSSR, 1975. 152 p.
12. Voloshin N. P., Dubasov Yu. V. *Yadernye ispytaniya SSSR. Mirnye yadernye vzryvy. Obespechenie obshchej i radiacionnoj bezopasnosti pri ih provedenii* [Nuclear tests of the USSR. Peaceful nuclear explosions. Ensuring general and radiation safety during their implementation]. M.: Izd.AT, 2001. 59 p.
13. Gordeev K. I. *Ocenka pogloshchennyh i effektivnyh doz ioniziruyushchih izluchenij u naseleniya, postoyanno prozhivayushchego na radioaktivnyh sledah atmosferynyh yadernyh vzryvov: Metodicheskie ukazaniya* [Assessment of absorbed and effective doses of ionizing radiation in the population permanently living on the radioactive traces of atmospheric nuclear explosions: Guidelines]. Moscow: Federal'nyj centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2001. 112 p.
14. Lejpunskij O. I. *Gamma-izluchenie yadernogo vzryva* [Gamma radiation from a nuclear explosion]. Moscow: Atomizdat. 1959. 154 p.
15. Zejnetdinova O. G., Smirnov V. M. *Obosnovanie meropriyatij po povysheniyu urovnya radiacionnoj bezopasnosti avarijno-spasatel'nyh rabot v ochage yadernogo porazheniya* [Substantiation of measures to increase the level of radiation safety of emergency rescue operations in the center of nuclear destruction]. *Sovershenstvovanie voprosov antikrizisnogo upravleniya*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. Pp. 11–15.
16. Zejnetdinova O. G. *Medikamentoznaya profilaktika radiacionnyh porazhenij u spsatelej* [Medical prevention of radiation damage in rescuers]. *Sovershenstvovanie voprosov antikrizisnogo upravleniya*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2013. Pp. 14–18.
17. Zejnetdinova O.G. *Osobennosti ocenki radiacionnoj obstanovki pri chrezvychajnyh situacijah na AES* [Features of the assessment of the radiation situation in emergency situations at nuclear power plants]. *Aktual'nye voprosy pozharotusheniya*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024. Pp. 85–88.
18. *Modelirovanie situacionnyh zadach po likvidacii chrezvychajnyh situacij na potencial'no-opasnyh ob'ektah* [Modeling of situational tasks for emergency response at potentially dangerous facilities] / P. V. Danilov, A. K. Kokurin, A. O. Semenov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 13–20.
19. Vladimirov V. A., Izmalkov V. I., Izmalko A. V. *Radiacionnaya i himicheskaya bezopasnost' naseleniya* [Radiation and chemical safety of the population]. Moscow: Delovoj ekspress, 2005. 544 p.

Зейнетдинова Ольга Геннадьевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Российская Федерация, г. Иваново

Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры

E-mail: zeinet@bk.ru

Zeinetdinova Ol'ga Gennad'evna

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of biological Sciences, associate Professor, Associate Professor of the Department

E-mail: zeinet@bk.ru.

Данилов Павел Владимирович,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Старший преподаватель кафедры

E-mail: KGZiUii@mail.ru

Danilov Pavel Vladimirovich,

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

Russian Federation, Ivanovo

Senior Lecturer

E-mail: KGZiUii@mail.ru

Кокурин Алексей Константинович,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Ученый секретарь ученого совета

E-mail: kokurin@mail.ru

Kokurin Aleksey Konstantinovich,

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

Academic Secretary of the Academic Council

E-mail: kokurin@mail.ru

УДК 614.842

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА СПЕЦИАЛИСТОВ ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЖУРНОЙ СМЕНЫ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. Ф. РАЗУМОВА, А. О. СЕМЕНОВ, А. А. АПАРИН, К. В. ЖИГАНОВ

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 развитию способов информационной поддержки специалистов оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации. Описана функциональная структура и реализация программы для обобщения различных видов информации, поступающих в оперативную дежурную смену на раннем этапе организации реагирования. Предложенное решение позволяет обобщать и передавать данные, полученные в результате использования различных информационных технологий, а также оперативно получать актуальные данные для связи с дежурно-диспетчерскими службами объектов, на которых развивается деструктивное событие.

Ключевые слова: информационная поддержка, информационные технологии, городская среда, Центр управления в кризисных ситуациях, видеонаблюдение, геоинформационные технологии, веб-технологии.

INFORMATION SUPPORT FOR SPECIALISTS OF THE OPERATIONAL DUTY SHIFT OF THE CRISIS MANAGEMENT CENTER BASED ON MODERN TECHNOLOGIES

E. F. RAZUMOVA, A. O. SEMENOV, A. A. APARIN, K. V. ZHIGANOV

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 devoted to the development of information support methods for specialists of the operational shift of the Control Center in crisis situations. The functional structure and implementation of the program for summarizing various types of information received by the operational duty shift at an early stage of the response organization are described. The proposed solution makes it possible to generalize and transmit data obtained as a result of using various information technologies, as well as to promptly receive up-to-date data for communication with the duty dispatch services of facilities where a destructive event is developing

Keywords: information support, information technology, urban environment, Crisis Management Center, video surveillance, geoinformation technologies, web technologies.

Вопросы информационной поддержки личного состава оперативной дежурной смены (ОДС) Центров управления в кризисных ситуациях Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации (ЦУКС) являются актуальными, так как зачастую ОДС ЦУКС при сборе и обработке информации о развивающемся деструктивном событии на начальном этапе реагирования функционирует в условиях дефицита времени и информации. Тема информационной поддержки ОДС ЦУКС в последние годы имела активное обсуждение [1–6].

Теоретические и практические вопросы применения современных информационных технологий для поддержки принятия решений активно рассматривались в ряде работ [7–10].

Экстенсивное и интенсивное развитие современных информационных технологий позволяет разрабатывать практико-ориентированные предложения для уменьшения уровня дефицита информации и снижения трудоемкости процесса работы с информацией из различных источников в различных организационных системах, например, в ОДС ЦУКС на начальном этапе реагирования.

Согласно нормативному источнику¹, информационные технологии – это «процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов».

На основе проведенного анализа, было выявлено, что на данный момент активно развиваются следующие направления применения современных информационных технологий, которые могут быть успешно адаптированы для решения различных вопросов информационной поддержки ОДС ЦУКС:

- функционирование облачного видеонаблюдения, используемого с целью мониторинга объектов техносферы (может быть представлено в исполнении с интегрированным программным обеспечением – видеоаналитикой или без видеоаналитики);

- функционирование геоинформационных систем, интегрированных с технологией глобального позиционирования, с целью осуществления транспортного мониторинга, а также идентификации иных значимых стационарных и мобильных объектов на базе картографических сервисов;

- работа с информацией, функционально обеспеченная благодаря применению web-технологий.

Авторами настоящей статьи разработан «Программа для обобщения различных видов информации, поступающих в оперативную дежурную смену ЦУКС на раннем этапе организации реагирования» [11] (на момент публикации подана заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ). Программа разработана на языке программирования Python. Для функционирования программы дополнительно использованы: HTML – стандартизированный язык гипертекстовой разметки документов для просмотра веб-страниц в браузере; информационные ресурсы, представленные в табличном процессоре; возможности мессенджера «Telegram».

Функциональная структура разработанной программы представлена взаимосвязанными блоками. Скриншоты графического пользовательского интерфейса представлены на рис. 1 и 2.

Блок 1. Блок ввода различных видов информации, поступающих в оперативную дежурную смену ЦУКС на раннем этапе организации реагирования. Вводятся:

- ссылки на трансляции от камер видеонаблюдения, установленных в городской

среде в непосредственной близости к месту вызова (отобранные при помощи блока 2);

- ссылки на графическое отображение в картографическом сервисе геолокации выбранных камер видеонаблюдения;

- ссылка на трансляцию с места развития деструктивного события от очевидца или заявителя (является перспективным источником дополнительной информации на раннем этапе организации реагирования);

- ссылка на документацию предварительного планирования (или иные документы, имеющие важное значение для принятия управленческого решения и хранящиеся в «облаке данных»);

- ссылки на графическое отображение в картографическом сервисе геолокации движущихся к месту вызова первых подразделений с указанием затрат времени на преодоление маршрута;

- иную информацию.

Блок 2. Блок информационной поддержки при оперативном поиске и выборе подходящих камер видеонаблюдения по заданным критериям [12-13]. Функциональные возможности:

- многокритериальный анализ всех доступных для ОДС ЦУКС камер видеонаблюдения, установленных в городской среде;

- формирование выборки приоритетных для запроса трансляции камер видеонаблюдения;

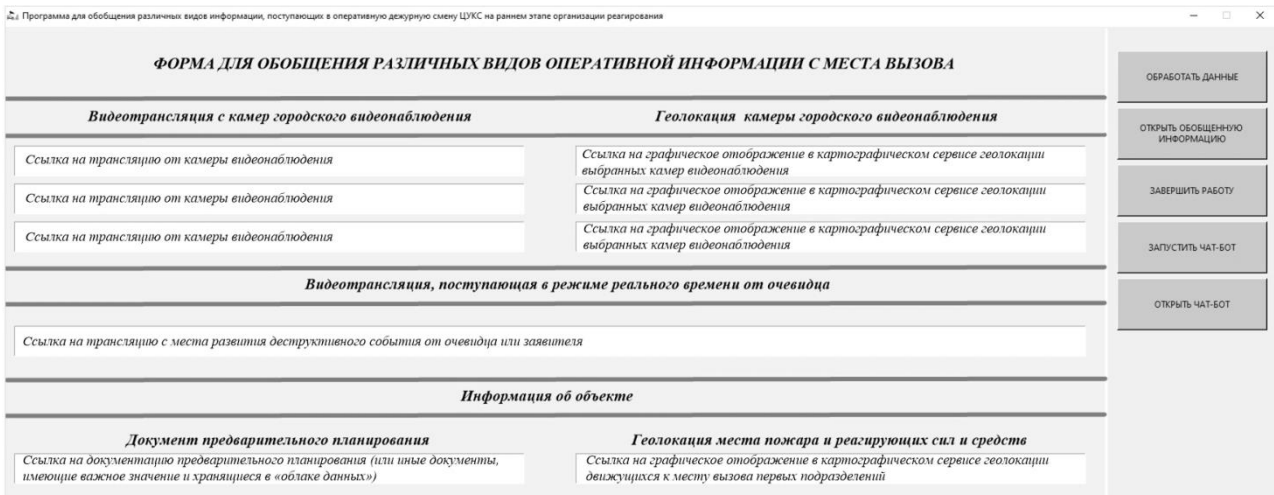
- визуализация результатов многокритериального анализа.

Критерии, по которым осуществляется поиск камер видеонаблюдения: 1) расстояние от камеры видеонаблюдения до непосредственного места вызова; 2) высота установки камеры видеонаблюдения относительно уровня земли; 3) ракурс камеры видеонаблюдения. Перечень критериев анализа может быть расширен.

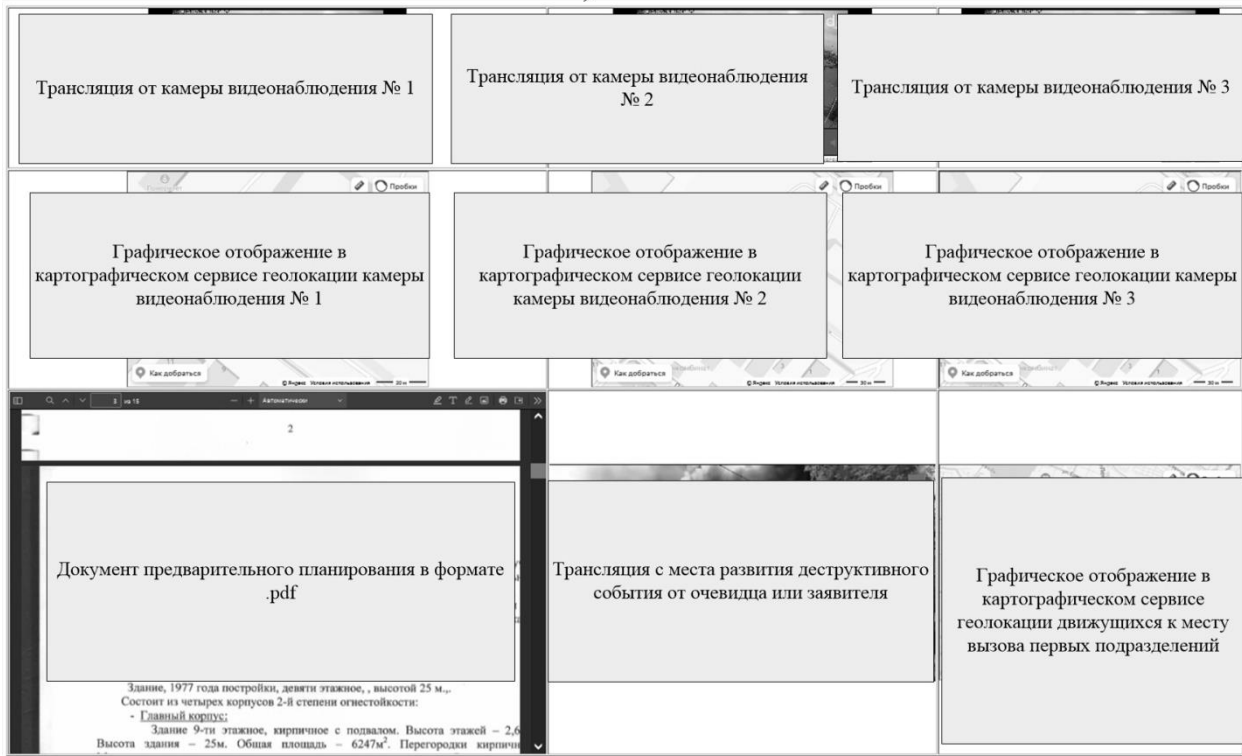
Результаты анализа визуализируются в табличном процессоре в виде ранжированного списка, а также в графическом интерфейсе пользователя картографического сервиса. Таким образом реализовано информационное обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения камер видеонаблюдения на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны в городской среде.

Блок 3. Блок информационной поддержки специалиста ОДС ЦУКС при оперативном установлении взаимодействия с дежурно-диспетчерской службой (ДДС) объекта, на котором развивается деструктивное событие. Блок 3 имеет программную реализацию в виде чат-бота на базе мессенджера «Telegram».

¹ Федеральный закон от 27 июля 2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».



а)



б)

Рис. 1. Графический интерфейс пользователя программной реализации блока 1 (а) и блока 4 (б) [11]

Функция 1 блока 3. После сообщения чат-боту адреса объекта происходит моментальная выдача информации (хранящейся в информационных ресурсах): 1) фамилия, имя и отчество дежурного ДДС; 2) контактные номера телефонов ДДС; 3) фамилия, имя и отчество, а также контактные данные представителей администрации объекта; 4) ссылки, иную необходимую информацию и данные, которые могут быть заданы дополнительно.

Функция 2 блока 3. Перспективным этапом развития блока 3 является техническая реализация возможности интеграции через мессенджер «Telegram» (или иной другой) специалиста ОДС ЦУКС и сотрудников объекта или жильцов дома (если объект – жилое здание), состоящих в информационном чате, для оперативного доведения информации. Таким образом возможно организовать информационную интеграцию регионального и локального уровней.

Блок 4. Блок вывода специалисту ОДС ЦУКС обобщенной информации, поступившей в ЦУКС и выявленной на раннем этапе организации реагирования.

Программная реализация блока 4 позволяет создать и обобщить в формате веб-документа (HTML-документа) все данные, которые были введены в блоке 1.

Такое решение позволяет:

- осуществлять просмотр комплексной информации, сведенной в электронную таблицу (видеотрансляции, отображение геолокации различных объектов, документы предварительного планирования) на одном мониторе автоматизированного рабочего места, либо на «видеостене» (без необходимости переключаться между трансляциями или другими информационными ресурсами);

- осуществлять оперативную передачу данного документа старшим оперативным должностным лицам местного пожарно-спасательного гарнизона;

- осуществлять оперативную передачу данного документа лицам местного пожарно-

спасательного гарнизона, находящимся в пути следования;

- осуществлять оперативную передачу данного документа иным должностным лицам согласно регламентирующей документации.

Графический интерфейс пользователя программной реализации блока 1 и блока 4 представлен на рис. 1. Отчет, представленный на рис. 1 б, является также средством информационной поддержки ОДС ЦУКС, позволяющим анализировать различные источники имеющейся информации в едином окне пользовательского графического интерфейса.

Программная реализация блока информационной поддержки при оперативном поиске и выборе подходящих камер видеонаблюдения осуществлена с использованием возможностей табличного процессора. Графический интерфейс пользователя программной реализации блока информационной поддержки специалиста ОДС ЦУКС при оперативном установлении взаимодействия с ДДС объекта, на котором развивается деструктивное событие представлен на рис. 2.

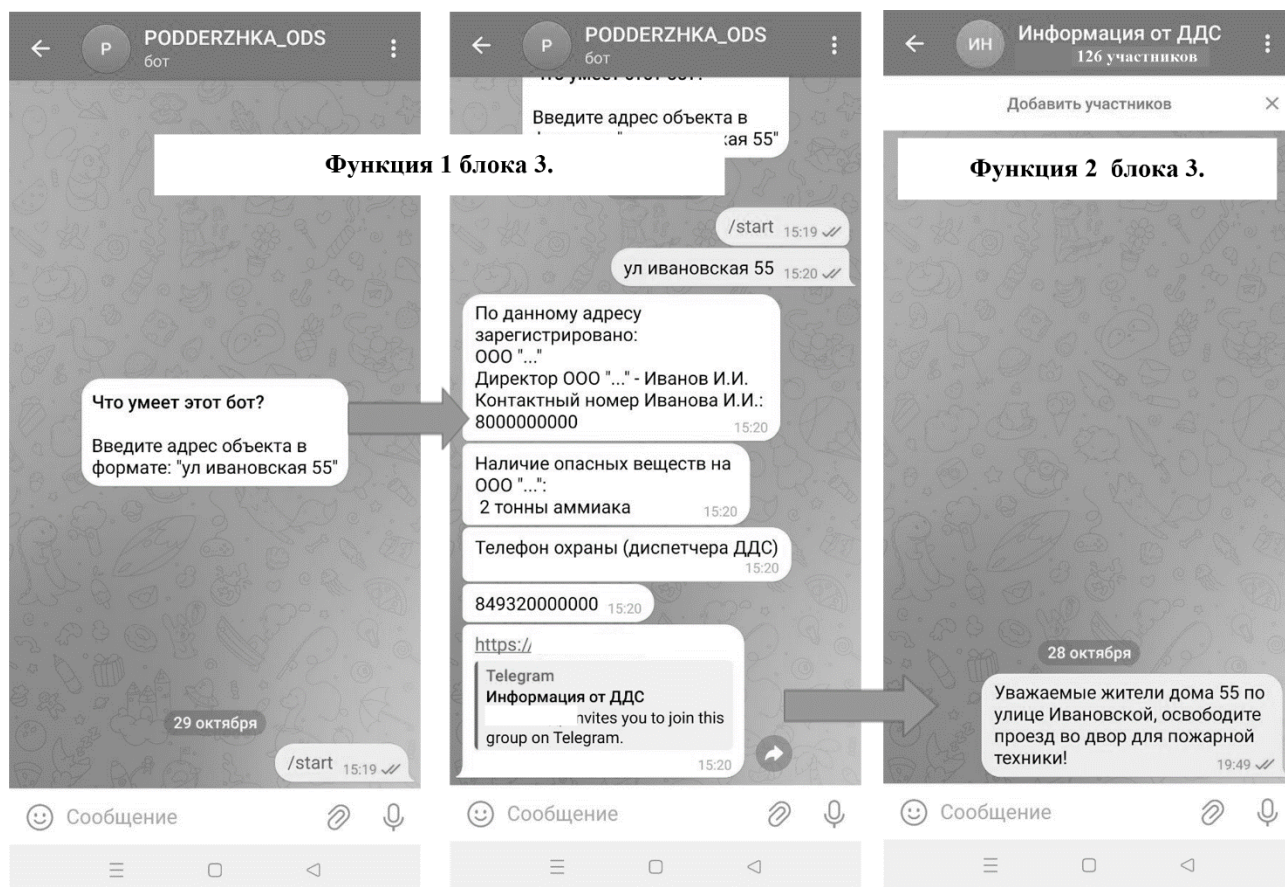


Рис. 2. Графический интерфейс пользователя программной реализации блока 4 [12]

Необходимо отметить, что функционал и информационное наполнение блоков 1–4 могут быть расширены и адаптированы под потребности ОДС ЦУКС конкретного субъекта Российской Федерации.

Таким образом в настоящей статье описан предложенный авторами рабочий прототип программы, которая позволяет:

– обобщать различные виды информации, поступающие в оперативную дежурную смену ЦУКС на раннем этапе организации реагирования;

– работать с обобщенными данными в едином окне графического пользовательского интерфейса;

– оперативно получать актуальные данные для связи с ДДС объектов, на которых развивается деструктивное событие;

– оповещать сотрудников объекта, на котором развивается деструктивное событие, и жильцов дома (если объект – жилое здание), состоящих в информационном чате в мессенджере «Telegram».

В будущем планируется адаптация программы для обобщения различных видов информации, поступающих в оперативную дежурную смену ЦУКС на раннем этапе организации реагирования [7] для обеспечения потребностей ОДС ЦУКС одного из субъектов Российской Федерации структурированной информацией, позволяющей произвести оценку складывающейся обстановки и принять взвешенное управленческое решение.

Список литературы

1. Горюнова В. В. Информационные технологии в задачах оперативного управления чрезвычайными ситуациями муниципального уровня // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023. № 6 (132).

Аспекты внедрения интегрированной информационной системы «Атлас опасностей и рисков» в ЦУКС регионального уровня / Е. Ю. Федоренко, В. В. Горюнова, С. И. Цховребов [и др.] // *Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов*. М.: Академия государственной противопожарной службы, 2024. № 13. С. 216–221.

2. Антюхов В. И., Остудин Н. В. Постановка задачи и системный анализ процесса совершенствования системы антикризисного управления с применением средств информационно-аналитической поддержки // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. 2020. № 4. С. 146–155.

3. Онов В. А., Панкратова М. В., Остудин Н. В. Информационные аспекты в системе антикризисного управления МЧС России // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. 2021. № 2. С. 116–124.

4. Остудин Н. В., Жигульская А. И., Игошин Д. Д. Концептуальные вопросы предупреждения чрезвычайных ситуаций (информирование и оповещение, управление силами и средствами) // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы современной науки, достижения и инно-*

вации: сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. С. 151–158.

5. Автоматизированная обработка данных дистанционного зондирования земли при анализе рисков аварийных разливов нефтепродуктов на водной поверхности / И. Г. Малыгин, О. В. Ложкина, В. А. Онов [и др.] // *Морские интеллектуальные технологии*. 2021. № 3-1(53). С. 142–149. DOI: 10.37220/MIT.2021.53.3.016.

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

7. Апарин А. А. Применение видеомониторинга для информационной поддержки принятия управленческих решений при реагировании на техногенный пожар // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2022. № 3 (44). С. 5–11. EDN: AONIIM.

8. Тараканов Д. В., Семенов А. О., Апарин А. А. Модели мониторинга пожаров на открытых территориях Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. 103 с. EDN: RHLPZC.

9. Михайлов, К. А. Информационная система и математическая модель для организации разведки пожара в зданиях с применением средств мониторинга / К. А. Михайлов, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023. № 4 (49). С. 84–93.

10. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2024625315, 19.11.2024 Информационное

обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны в городской среде: / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов.

11. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2024688213, 26.11.2024. Программа для обобщения различных видов информации, поступающих в оперативную дежурную смену ЦУКС на раннем этапе организации реагирования: / А. А. Апарин, А. О. Семенов, Е. Ф. Разумова [и др.].

12. Апарин А. А. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при реагировании на пожар в городской среде // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3 (52). С. 105–111.

References

- Goryunova V. V. Informacionny`e tehnologii v zadachax operativnogo upravleniya chrezvy`chajny`mi situacijami municipal`nogo urovnya [Information technologies in the tasks of operational emergency management at the municipal level]. *Mezhdunarodny`j nauchno-issledovatel`skij zhurnal*, 2023, vol. 6 (132).
- Aspekty` vnedreniya integrirovannoj informacionnoj sistemy` «Atlas opasnostej i riskov» v CzUKS regional`nogo urovnya [Aspects of the implementation of the integrated information system «Atlas of Hazards and Risks» in the CCS at the regional level] / E. Yu. Fedorenko, V. V. Goryunova, S. I. Czxovrebov [et al.]. *Problemy` texnosfernoj bezopasnosti: materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molody`x uchjony`x i specialistov*. Moscow: Akademiya gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby, 2024, issue 13, pp. 216–221.
- Antyuxov V. I., Ostudin N. V. Postanovka zadachi i sistemny`j analiz processa sovershenstvovaniya sistemy` antikrizisnogo upravleniya s primeneniem sredstv informacionno-analiticheskoj podderzhki [Setting the task and system analysis of the process of improving the anti-crisis management system using information and analytical support tools]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` MChS Rossii»*, 2020, issue 4, pp. 146–155.
- Onov V. A., Pankratova M. V., Ostudin N. V. Informacionny`e aspekty` v sisteme antikrizisnogo upravleniya MChS Rossii [Information aspects in the anti-crisis management system of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` MChS Rossii»*, 2021, issue 2, pp. 116–124.
- Ostudin N. V., Zhigul`skaya A. I., Igoshin D. D. Konceptual`ny`e voprosy` preduprezhdeniya chrezvy`chajny`x situacij (informirovanie i opoveshhenie, upravlenie silami i sredstvami) [Conceptual issues of emergency prevention (information and notification, management of forces and means)]. *Fundamental`ny`e i prikladny`e nauchny`e issledovaniya: aktual`ny`e voprosy` sovremennoj nauki, dostizheniya i innovacii: sbornik nauchny`x statej po materialam XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Ufa: Obshestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu «Nauchno-izdatel`skij centr «Vestnik nauki», 2023. Pp. 151–158.
- Avtomatizirovannaya obrabotka danny`x distancionnogo zondirovaniya zemli pri analize riskov avarijny`x razlivov nefteproduktov na vodnoj poverxnosti [Automated processing of earth remote sensing data in the analysis of the risks of accidental oil spills on the water surface] / I. G. Maly`gin, O. V. Lozhkina, V. A. Onov [et al.]. *Morskie intellektual`ny`e tehnologii*, 2021, vol. 3-1(53), pp. 142-149. DOI: 10.37220/MIT.2021.53.3.016.
- Aparin A. A. Videomonitoring: mirovaya praktika ispol`zovaniya i perspektivy` primeneniya v obespechenii pozharnoj bezopasnosti [Video monitoring: world practice of use and prospects of application in ensuring fire safety]. *Tehnologii texnosfernoj bezopasnosti*, 2021, vol. 1 (91), pp. 67–84. DOI: 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84.
- Aparin A. A. Primenenie videomonitoringa dlya informacionnoj podderzhki prinyatiya upravlencheskix reshenij pri reagirovanii na texnogenny`j pozhar [The use of video monitoring for information support of management decision-making in response to a man-made fire]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2022, vol. 3 (44), pp. 5–11. EDN: AONIIM.
- Tarakanov D. V., Semenov A. O., Aparin A. A. Modeli monitoringa pozharov na otkry`ty`x territoriyax [Fire monitoring models in open areas]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharно-spasatel`naya akademiya GPS MChS Rossii, 2022. 103 p. EDN: RHLPZC.
- Mixajlov K. A., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Informacionnaya sistema i matematicheskaya model` dlya organizacii razvedki pozhara v zdaniyax s primeneniem sredstv monitoringa [Information system and mathematical model for the organization of fire investigation in buildings]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2023, vol. 4 (49), pp. 84–93.
- Aparin A. A., Tarakanov D. V., Semenov A. O. Svidetel`stvo Rospatenta o gosudar-

stvennoj registracii bazy` danny`x RU № 2024625315, 19.11.2024. Informacionnoe obespechenie podderzhki prinyatiya reshenij po operativnomu vy`boru prioritny`x dlya primeneniya sredstv videomonitoringa na rannem e`tape reagirovaniya podrazdelenij pozharnoj ox-rany` v gorodskoj srede [Information support for decision-making on the operational selection of priorities for the use of video monitoring tools at an early stage of the response of fire protection units in the urban environment]

12. Aparin A. A., Semenov A. O., Razumova E. F. [et al.]. Svidetel`stvo Rospatenta o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM RU № 2024688213, 26.11.2024. Program-

ma dlya obobshheniya razlichny`x vidov informacii, postupayushhix v operativnuyu dezhurnuyu smenu CzUKS na rannem e`tape organizacii reagirovaniya [A program for summarizing various types of information received by the operational duty shift of the CCS at an early stage of the response organization]

13. Aparin A. A. Modeli i algoritmy` podderzhki prinyatiya upravlencheskix reshenij pri reagirovanii na pozhar v gorodskoj srede [Models and algorithms for supporting management decision-making in responding to a fire in an urban environment]. *Sovremennyye problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 3 (52), pp. 105–111.

Разумова Екатерина Федоровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель кафедры
E-mail: razumova1210@gmail.com

Razumova Ekaterina Fedorovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
senior teacher of the department
E-mail: razumova1210@gmail.com

Семенов Алексей Олегович

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

Semenov Alexey Olegovich

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

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

Жиганов Константин Вячеславович

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

старший преподаватель кафедры

E-mail: kvzhiganov1982@mail.ru

Zhiganov Konstantin Vyacheslavovich

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

Russian Federation, Ivanovo

senior teacher of the department

E-mail: kvzhiganov1982@mail.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 специальностям журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.
- экспертное заключение о возможности открытой публикации материалов в журнале;

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

- формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликация) 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.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 4 (53), 2024

16+

Дата выхода в свет 23.12.2024 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 21,1. Тираж 100 экз.
Заказ № 840. 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