

ISSN 2658-6223

Управление
в организационных системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

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

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

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
строительства
и городского хозяйства
(технические науки)

Пожарная безопасность
(технические науки)

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

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

№ 2 (51), 2024



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Научный журнал

Издается с 2011 года

Выходит 4 раза в год

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

Территория распространения — Российская Федерация, зарубежные страны.

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

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

Заместители

главного редактора:

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

Научный редактор:

Члены редколлегии:

Акулова Марина Владимировна — д-р техн. наук, профессор, Советник РААСН, заведующая кафедрой архитектуры и урбанистики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Алексеев Михаил Иванович — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)

Барбин Николай Михайлович — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения УНК ПИПАСР ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)

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

Баусов Алексей Михайлович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Бубнов Андрей Германович — д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Бутман Михаил Федорович — д-р физ.-мат. наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, главный научный сотрудник, профессор кафедры технологии керамики и электрохимических производств ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Бутузов Станислав Юрьевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий (в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий) ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России» (Россия, г. Москва)

Горюнова Светлана Владимировна — д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры основ экономики функционирования РСЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Ерофеев Владимир Трофимович — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры строительного материаловедения НИУ МГСУ (Россия, г. Москва)

Ефремов Александр Михайлович — д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры технологии приборов и материалов электронной техники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Камлюк Андрей Николаевич — канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель начальника ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» по научной и инновационной деятельности (Республика Беларусь, г. Минск)

Ковтун Вадим Анатольевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры оперативно-тактической деятельности и техники Гомельского филиала ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» (Республика Беларусь, г. Гомель)

Колобов Михаил Юрьевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Краснов Александр Алексеевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Лопанов Александр Николаевич — д-р техн. наук, профессор, директор Регионального учебно-методического центра ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» (Россия, г. Белгород)

Назарычев Александр Николаевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетики и электромеханики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)

Овчинников Александр Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

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

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

Соколов Александр Михайлович — д-р техн. наук, доцент, советник РААСН, профессор кафедры высоковольтной электроэнергетики, электротехники и электрофизики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (Россия, г. Иваново)

Степанов Сергей 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)

Телчченко 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

Подписной индекс в каталоге «Почта России» — ПН138.

Дата выхода в свет 26.06.2024 г. Формат 60х90 1/8. Усл. печ. л. 28,4. Тираж 100 экз. Заказ № 400.

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)

Баканов М. О., Захаров Д. Ю., Суровегин А. В., Кузнецов И. А., Катин Д. С. Анализ влияния физической нагрузки на организм газодымозащитников в условиях термонеutralной температуры воздуха.....	5
Bakanov M. O., Zakharov D. Yu., Surovegin A. V., Kuznetsov I. A., Katin D. S. Analysis of the effect of physical activity on the organism of gas smoke defenders in thermoneutral air temperature conditions	5
Богданов И. А., Шабунин С. А., Ульева С. Н., Никифоров А. Л. Разработка научно-обоснованного подхода к оценке влияния термического старения ПВХ-изоляции на пожарную опасность кабельных изделий	18
Bogdanov I. A., Shabunin S. A., Ul'eva S. N., Nikiforov A. L. Development of a scientifically based approach to assessing the influence of thermal aging of PVC insulation on the fire hazard of cable products	18
Бубнов А. Г., Бочкарёв А. Н., Волков В. В. Возможность упрощения выбора пожарных стволов.....	25
Bubnov A. G., Bochkaryov A. N., Volkov V. V. Possibility to simplify the selection of fire barrels.....	25
Кочнов О. В., Никифоров А. Л., Новожилова К. А. Аспекты определения эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре	33
Kochnov O. V., Nikiforov A. L., Novozhilova K. A. Aspects of determining the effectiveness of warning and evacuation management systems in case of fire	33
Кочнов О. В., Никифоров А. Л., Новожилова К. А. Оценка коэффициентов значимости этапов жизненного цикла СОУЭ на основании результатов экспертного опроса.....	39
Kochnov O. V., Nikiforov A. L., Novozhilova K. A. Assessment of the coefficients of the significance of the stages of the life cycle of the FWEMS based on the results of an expert survey	39
Легкова И. А., Зарубин В. П., Иванов В. Е., Покровский А. А. Повышение эффективности эксплуатации пожарной техники за счет создания необходимых условий для ее ремонта и технического обслуживания.....	47
Legkova I. A., Zarubin V. P., Ivanov V. E., Pokrovsky A. A. Increasing the efficiency of operation of fire equipment by creating the necessary conditions for its repair and maintenance.....	47
Мальцев А. Н. Методика огневых испытаний устройств для ограничения распространения ландшафтных пожаров	56
Maltsev A. N. Methods of fire testing of devices for limiting the spread of land-scape fires	56
Меликян М. Л., Пеньков И. В., Лазарев А. А. Модель совершенствования специальных технических условий по пожарной безопасности.....	65
Melikyan M. L., Penkov I. V., Lazarev A. A. A model for improving regulatory documents based on the experience of regulatory and technical councils	65
Молодоженцев П. В., Ищенко А. Д. Технология применения пожарной техники и пожарнотехнического вооружения при локализации пожаров на объектах энергетики.....	74
Molodozhentsev P. V., Ishchenko A. D. Technology for the use of firefighting equipment and fire-technical weapons in the localization of fires at energy facilities	74
Семенов А. О., Калашников Д. В., Семенов А. Д. Особенности тушения природных пожаров на начальных этапах	85
Semenov A. O., Kalashnikov D. V., Semenov A. D. Features of extinguishing wildfires in the initial stages	85
Сиплатов Е. А., Никифоров А. Л., Нагановский Ю. К., Новожилова К. А. Термогравиметрические исследования жидкого стекла в различных средах.....	94
Siplatov E. A., Nikiforov A. L., Naganovskii Y. K., Novozhilova K. A. Thermogravimetric studies of liquid glass in various media	94
Шалевин Д. Н. Оценка реализации тактических задач пожарных подразделений в процессе выполнения повторных работ при тушении крупных пожаров	101

Shaliavin D. N. Assessment of the implementation of tactical tasks of fire departments in the process of performing repeated work in extinguishing large fires.....	101
--	-----

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

Кульшаров Б. Б., Акулова М. В. Состав шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости на основе измельченных кукурузных отходов	108
Kulsharov B. B., Akulova M. V. Composition of slag alkali lightweight concrete based on grinded corn waste with increased fire resistance	108
Румянцева В. Е., Красильников И. В., Новикова У. А., Красильникова И. А., Строкин К. Б. Моделирование массопереноса агрессивных растворов солей в торкрет-бетонном покрытии.....	116
Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Krasilnikova I. A., Novikova U. A., Strokin K. B. Modeling of mass transfer of aggressive salt solutions in a shotcrete coating	116

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

HEAT, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS AND LIGHTING SUPPLY

Малыгина О. А. Анализ теплотехнических свойств наружной ограждающей конструкции по итогам натурных испытаний	129
Malygina O. A. Analysis of the thermal properties of the outdoor the enclosing structure according to the results of field tests	129

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

Колеров Д. А., Куватов В. И., Заводсков Г. Н., Туманов А. Ю. Алгоритм поддержки принятия решений при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС	140
Kolerov D. A., Kyvatov V. I., Zavodskov G. N., Tumanov A. Yu. Algorithm for supporting decision making when searching for evading vessels by employees of the state inspection for small vessels EMERCOM of Russia	140
Коробко В. Б., Кияткина Е. Н. Современные аспекты технического регулирования в области пожарной безопасности	149
Korobko V. B., Kiiatkina E. N. Modern aspects of technical regulation in the field of fire safety.....	149
Мареев М. А. Моделирование процессов управления, используя метод электрогидравлических аналогий при тушении пожаров на промышленных объектах.....	161
Mareev M. A. Modeling of control processes using the method of electrohydraulic analogies in fighting fires at industrial facilities.....	161
Потахов А. В., Леонов Р. С. Организация тушения пожаров на объектах, задействованных при проведении мероприятий федерального уровня с массовым сосредоточением людей.....	167
Potakhov A. V., Leonov R. S. Organizations of fire extinguishing in facilities used during federal-level events with mass concentration of people.....	167

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

Смирнова Е. Э., Слесарев М. Ю., Мозаффары М. А. Сценарный подход к оценке рисков для обеспечения экологической безопасности в строительстве	173
Smirnova E. E., Slesarev M. Yu., Mozaffari M. A. Scenario approach to risk assessment to ensure environmental safety in the construction industry	173

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

УДК 614.842.657

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ
НА ОРГАНИЗМ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ
В УСЛОВИЯХ ТЕРМОНЕЙТРАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА**

М. О. БАКАНОВ, Д. Ю. ЗАХАРОВ, А. В. СУРОВЕГИН, И. А. КУЗНЕЦОВ, Д. С. КАТИН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: mask-13@mail.ru, mr.dmitriyzakharov@mail.ru, sav_37@mail.ru,

ikuz1999@list.ru, den.catin@yandex.ru

Статья посвящена влиянию нарастающей физической нагрузки на организм газодымозащитников в условиях термонеutralной температуры воздуха. Определены опасные факторы пожара и их воздействие на организм человека. Авторы провели наблюдение с участием обучающихся Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, изучив влияние на их функциональное состояние физической нагрузки при термонеutralной температуре воздуха. Результаты позволили выявить основные факторы, ограничивающие физическую активность газодымозащитников в комфортных условиях. Целью работы было оценить реакции организма на физическую нагрузку. Для этого была проведена серия нагрузочных тестов с использованием беговой дорожки и мониторингом сердечного ритма. Полученные данные помогут лучше понять физиологические особенности организма газодымозащитников во время тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: газодымозащитник, легочная вентиляция, частота сердечных сокращений, максимальное потребление кислорода, физическая нагрузка.

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY
ON THE ORGANISM OF GAS SMOKE DEFENDERS
IN THERMONEUTRAL AIR TEMPERATURE CONDITIONS**

M. O. BAKANOV, D. Yu. ZAKHAROV, A. V. SUROVEGIN, I. A. KUZNETSOV, D. S. KATIN

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: mask-13@mail.ru, mr.dmitriyzakharov@mail.ru, sav_37@mail.ru,

ikuz1999@list.ru, den.catin@yandex.ru

The article is devoted to the influence of increasing physical stress on the body of gas and smoke protectors under conditions of thermoneutral air temperature. Fire hazards and their impact on human health are identified. The authors conducted observations with the participation of students of the Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, studying the effect of physical activity at thermoneutral air temperature on their functional state. The results made it possible to identify the main factors limiting the physical activity of gas and smoke protection workers in comfortable conditions. The purpose of the work was to evaluate the body's response to physical activity. To do this, a series of stress tests were carried out using a treadmill and heart rate monitoring. The data obtained will help to better understand the physiological characteristics of the body of gas and smoke protectors during fire extinguishing and emergency rescue operations.

Key words: gas and smoke protection, pulmonary ventilation, heart rate, maximum oxygen consumption, physical activity.

В ходе выполнения боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ газодымозащитники в составе звеньев газодымозащитной службы (ГДЗС) выполняют напряженную физическую работу, которая сопряжена с воздействием опасных факторов пожара (ОФП). К опасным факторам пожара относятся пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, а также сниженная видимость в дыму. Критерием оценки в соответствии с ГОСТ 12.004-91¹ является предельно допустимое значение опасного фактора пожара, при котором воздействие на человека в течение критической продолжительности пожара не приводит к травме или отклонению в состоянии здоровья [1]. Для таких опасных факторов пожара, как повышенная температура и тепловой поток, приняты значения 70 °C и 1400 Вт/м² соответственно. Следует отметить, что повышенная температура воздуха является одним из основных неблагоприятных физических факторов, оказывающих воздействие на организм человека. Результатом воздействия повышенной температуры воздуха может быть наступление теплового удара. Как правило тепловой удар наступает при повышении температуры воздуха свыше 35 °C и относительной влажности 80–90 % [2]. Однако возникновение теплового удара может наступать и при невысоких температурах воздуха — 20–25 °C и относительной влажности воздуха 100 % в условиях увеличения теплопроизводства во время интенсивной мышечной работы [3]. Скорость наступления перегрева организма и степень перегрева при нарушении терморегуляции, приводящие к тепловому удару, различны у разных людей и зависят не только от внешних факторов, но и от индивидуальных особенностей человека [4, 5].

Нельзя не согласиться, что выполнение физически тяжелых работ на пожаре оказывает негативное воздействие на организм газодымозащитника. Хорошо известно, что выполнение работ, связанных с тушением пожара, является физически тяжелым видом деятельности, предъявляющим значительные требования к функциональной подготовке пожарных [6]. Зачастую во время боевых действий по тушению пожаров у участников тушения пожара регистрируются высокие значения частот сердечных сокращений [7], что может вызывать необратимые изменения, обуславли-

вающие возникновение тех или иных заболеваний или нарушений в организме газодымозащитника [8].

Для прогнозирования безопасных параметров работы газодымозащитников следует провести анализ внешних факторов окружающей среды, а также оценить показатели ответных реакций организма газодымозащитника на возрастающую по интенсивности физическую нагрузку в различных условиях воздействия температуры. В работе демонстрируются промежуточные результаты исследования, посвященные оценке ответных реакций организма газодымозащитника на возрастающую по интенсивности физическую нагрузку при термонеutralной температуре воздуха. Предполагается, что определение взаимосвязи физиологических параметров газодымозащитника от физической нагрузки при термонеutralной температуре воздуха позволит установить ключевые параметры, которые оказывают наибольшее влияние на эффективность выполняемых боевых действий.

Цель исследования — оценить ответные реакции организма газодымозащитника на возрастающую по интенсивности физическую нагрузку при термонеutralной температуре воздуха.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить влияние на функциональное состояние организма газодымозащитника физической нагрузки нарастающей мощности при термонеutralной температуре воздуха.
2. Определить основные факторы, лимитирующие двигательную деятельность определенного характера и мощности у газодымозащитника в условиях комфортного микроклимата.

Организация и методы исследования

Исследование проводилось в период с 2023 по 2024 годы. В нем приняли участие 25 обучающихся 3-го года обучения Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в возрасте от 20 до 22 лет. На начальном этапе исследования у всех обучающихся был определен показатель аэробной работоспособности (максимальное потребление кислорода (МПК)) по результатам выполнения упражнения на выносливость — бег 3000 м (табл. 1) [9]. В ходе наблюдения обучающиеся, одетые в боевую одежду пожарного (БОП) типа У и включенные в дыхательный аппарат со сжатым воздухом ДАСВ «Зевс», выполняли возрастающую по интенсивности физическую нагрузку на беговой дорожке (HouseFit HT-9164E), начальная скорость движения полотна составляла 2 км/ч. Методика заключалась в

¹ ГОСТ 12.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

том, что скорость движения полотна увеличивалась ступенчато, на 2 км/ч и вплоть до отказа обучающегося от продолжения работы или до достижения значения максимальной частоты сердечных сокращений, определяемой по формуле «220 - возраст» [10]. Длительность каждой ступени нагрузки (выполнено 4 ступени) — 5 минут, паузы отдыха между ними — 1 минута (секундомер Casio HS-80TW-1E). В течение последних 30 секунд на каждой ступени нагрузки определялись значения легочной вентиляции ($\dot{V}_E$). Через каждые 5 минут работы

фиксировались значения ЧСС при помощи нагрудного пульсометра Polar H10.

Применение беговой дорожки в ходе тестирования обусловлено подбором наиболее схожих по трудоемкости видов работ в сравнении с реальной боевой работой на пожаре, которые позволяют выполнить работу максимальной мощности. Мощность является важнейшей энергетической характеристикой двигательной способности организма, для ее определения пользовались следующей зависимостью [11]:

$$W_{att} = \frac{V \cdot BW \cdot (2,11 + G \cdot 0,25) + 2,2 \cdot BW - 151}{10,5}, \quad (1)$$

где W_{att} — рассчитываемая мощность; V — скорость движения полотна; BW (body weight) — масса тела; G — угол наклона в %.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные параметры при выполнении возрастающей по интенсивности физической нагрузки на беговой дорожке представлены в табл. 2.

Для определения зависимости между экспериментальными данными основных параметров при выполнении различной физической нагрузки (1 ступень) строили двумерные диаграммы рассеяния (рис. 1). При анализе экспериментальных данных появляется возможность определить наличие или отсутствие корреляции между двумя параметрами и без математической обработки данных установить зависимости по графическому представлению.

Таблица 1. Результаты антропометрических показателей и мощности выполняемой работы

№ п/п	Рост, см	Вес, кг	Индекс массы тела	МПК, мл/кг/мин	W_{att} (1 ступень), Вт	W_{att} (2 ступень), Вт	W_{att} (3 ступень), Вт	W_{att} (4 ступень), Вт
1.	180	67	20,6	54	29,7	59,8	90,	120,1
2.	191	82	22,4	53	39,6	76,5	113,3	150,2
3.	183	70	20,9	50	31,7	63,2	94,6	126,1
4.	181	74	22,5	59	34,3	67,6	100,9	134,1
5.	179	77	24	56	36,3	70,9	105,5	140,2
6.	172	64	21,6	61	27,7	56,5	85,3	114,1
7.	176	72	23,2	57	33	65,4	97,8	130,1
8.	190	90	24,9	56	44,9	85,3	125,8	166,3
9.	173	70	23,3	53	31,7	63,2	94,6	126,1
10.	186	75	21,6	59	35	68,7	102,4	136,1
11.	179	67	20,9	64	29,7	59,8	90	120,1
12.	185	72	21	55	33	65,4	97,8	130,1
13.	186	72	20,8	58	33	65,4	97,8	130,1
14.	169	62	21,7	55	26,4	54,3	82,2	110
15.	180	78	24	65	37	72	107,1	142,2
16.	187	70	20	55	31,7	63,2	94,6	126,1
17.	180	77	23	57	36,3	70,9	105,5	140,2
18.	178	73	23	82	33,7	66,5	99,3	132,1
19.	169	62	21,7	50	26,4	54,3	82,2	110
20.	177	66	21	50	29,1	58,7	88,4	118,1
21.	183	83	24,7	47	40,3	77,6	114,9	152,2
22.	183	71	21,2	51	32,4	64,3	96,2	128,1
23.	174	67	22,1	53	29,7	59,8	90	120,1
24.	187	90	25,7	48	44,9	85,3	125,8	166,3
25.	173	68	22,7	65	30,4	61	91,5	122,1

Таблица 2. Результаты экспериментальных данных по расходу воздуха и значениям ЧСС

№ п/п	МПК, мл/кг/мин	1 ступень (2 км/ч)		2 ступень 4 км/ч		3 ступень 6 км/ч		4 ступень 8 км/ч	
		ЧСС, уд/мин	$\omega_{л}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	$\omega_{л}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	$\omega_{л}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	$\omega_{л}$, л/мин
1.	54	106	45,33	132	68	155	70,26	177	77,06
2.	53	105	22,66	131	45,33	157	79,33	180	90,66
3.	50	102	40,8	115	65,73	148	70,26	175	88,4
4.	59	100	31,73	114	38,53	146	52,13	175	81,6
5.	56	93	22,66	105	36,26	134	54,4	168	74,8
6.	61	89	31,73	105	45,33	134	61,2	164	86,13
7.	57	104	34	125	40,8	154	61,2	177	77,06
8.	56	88	31,73	102	36,26	127	52,13	165	74,8
9.	53	124	34	133	36,26	156	54,4	181	90,66
10.	59	107	40,8	119	54,4	134	56,66	157	83,86
11.	64	93	29,46	105	31,73	121	45,33	157	63,46
12.	55	105	29,46	120	34	150	52,13	180	86,13
13.	58	104	29,46	120	58,93	152	68	176	74,8
14.	55	101	29,46	122	40,8	141	56,66	169	79,33
15.	65	93	34	107	40,8	128	54,4	159	72,53
16.	55	104	27,2	116	36,28	141	47,6	168	81,6
17.	57	110	27,2	116	34	138	45,33	172	72,53
18.	82	122	29,46	129	34	145	40,8	184	81,6
19.	50	110	22,66	131	45,33	162	56,66	186	77,06
20.	50	116	36,26	130	47,6	163	61,2	188	79,33
21.	47	112	27,2	131	38,53	156	45,33	185	77,06
22.	51	116	40,8	130	54,4	159	74,8	177	83,86
23.	53	99	27,2	109	31,73	136	45,33	173	63,46
24.	48	93	34	113	47,6	144	70,26	171	104,26
25.	65	88	29,46	106	34	131	54,4	164	63,46

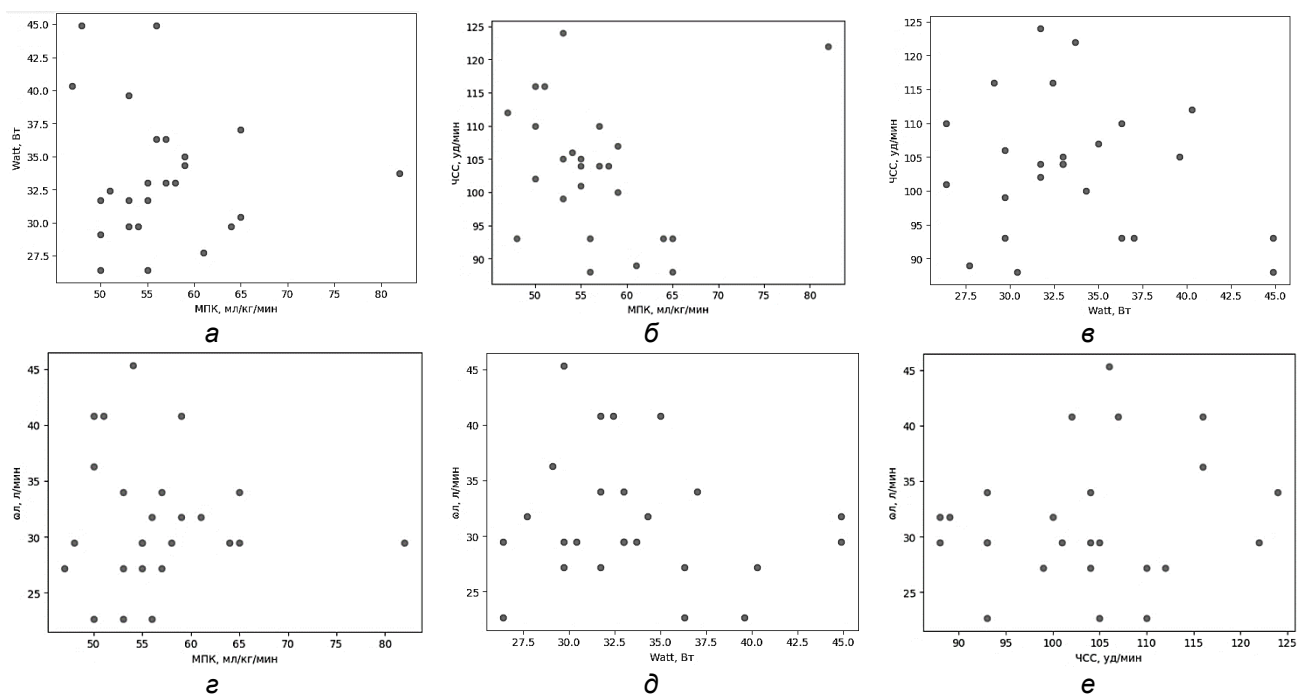


Рис. 1. Двумерная диаграмма рассеяния (1 ступень):

а — мощности выполняемой работы и МПК; б — ЧСС и МПК;

в — ЧСС и мощности выполняемой работы; г — легочной вентиляции и МПК;

д — легочной вентиляции и мощности выполняемой работы; е — легочной вентиляции и ЧСС

Для количественной оценки линейной корреляции между значениями одной переменной и значениями другой переменной рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона². С учетом данных при интенсивности физической нагрузки — 1 ступень — могут быть сделаны следующие выводы:

1. Коэффициент корреляции между (МПК) и мощностью выполняемой работы W_{att} равен $r = -0,109$, это указывает на то, что существует слабая отрицательная корреляция между этими параметрами. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК вырабатывают меньшую мощность W_{att} .

2. Коэффициент корреляции между (МПК) и ЧСС равен $r = -0,067$, это указывает на то, что существует слабая отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК вероятно показывают несколько меньшие значения ЧСС, однако эта зависимость не является значимой.

3. Коэффициент корреляции между МПК и ω_l равен $r = -0,049$, это указывает на то, что существует очень слабая отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК вероятно показывают несколько меньшие значения ле-

гочной вентиляции ω_l , однако эта зависимость не является значимой.

4. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и ЧСС равен $r = 0,188$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, увеличение мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, приведет к увеличению значения ЧСС обучающегося, однако эта зависимость не является значимой.

5. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и ω_l равен $r = 0,154$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, при увеличении мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, будет увеличиваться значение легочной вентиляции ω_l , однако эта зависимость не является значимой.

6. Коэффициент корреляции между ЧСС и ω_l равен $r = 0,183$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, при увеличении ЧСС у обучающихся значение легочной вентиляции ω_l , вероятно, будет незначительно увеличиваться, однако эта зависимость не является значимой.

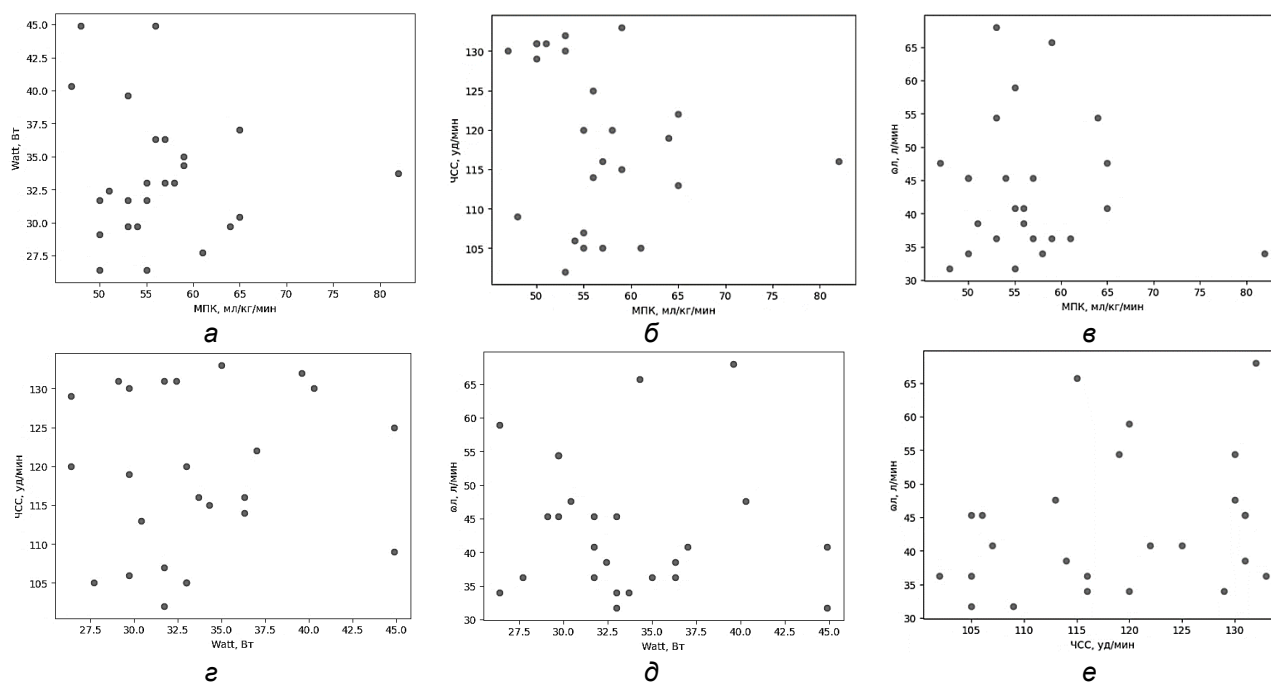


Рис. 2. Двумерная диаграмма рассеяния (2 ступень):

а – мощности выполняемой работы и МПК; б – ЧСС и МПК;

в – ЧСС и мощности выполняемой работы; г – легочной вентиляции и МПК;

д – легочной вентиляции и мощности выполняемой работы; е – легочной вентиляции и ЧСС

² ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013.

В целом, коэффициенты корреляции между переменными невелики, что указывает на слабую линейную зависимость между значениями одной переменной значениям другой переменной. Это означает, что изменение одной переменной не оказывает значительного влияния на изменение другой переменной.

Полагаем, что при увеличении физической нагрузки степень выраженности линейной корреляции будет возрастать. Результаты построения двумерных диаграмм рассеяния с учетом показателей 2 степени приведены на рис. 2.

При расчете коэффициента корреляции Пирсона, с учетом данных при уровне физической нагрузки — 2 степень, могут быть сделаны следующие выводы:

1. Коэффициент корреляции между МПК и мощностью выполняемой работы W_{att} равен $r = -0,11$, это указывает на то, что существует слабая отрицательная корреляция между этими параметрами. Таким образом, обучающиеся с более высокими показателями МПК вырабатывают меньшую мощность W_{att} .

2. Коэффициент корреляции между МПК и ЧСС равен $r = -0,25$, это указывает на то, что существует слабая отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК, вероятно, показывают несколько меньшие значения ЧСС, однако эта зависимость не является значимой.

3. Коэффициент корреляции между МПК и ω_l равен $r = -0,33$, это указывает на то, что существует очень слабая отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК, вероятно, показывают несколько меньшие значения легочной вентиляции ω_l , однако эта зависимость не является значимой.

4. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и ЧСС равен $r = 0,18$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, увеличение мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, приведет к увеличению значения ЧСС обучающегося, однако эта зависимость не является значимой.

5. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и ω_l равен $r = 0,10$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, при увеличении мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, будет увеличиваться значение легочной вентиляции ω_l , однако эта зависимость не является значимой.

6. Коэффициент корреляции между ЧСС и ω_l равен $r = 0,33$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, при увеличении ЧСС у обучающихся значение легочной вентиляции ω_l , вероятно, будет незначительно увеличиваться, однако эта зависимость не является значимой.

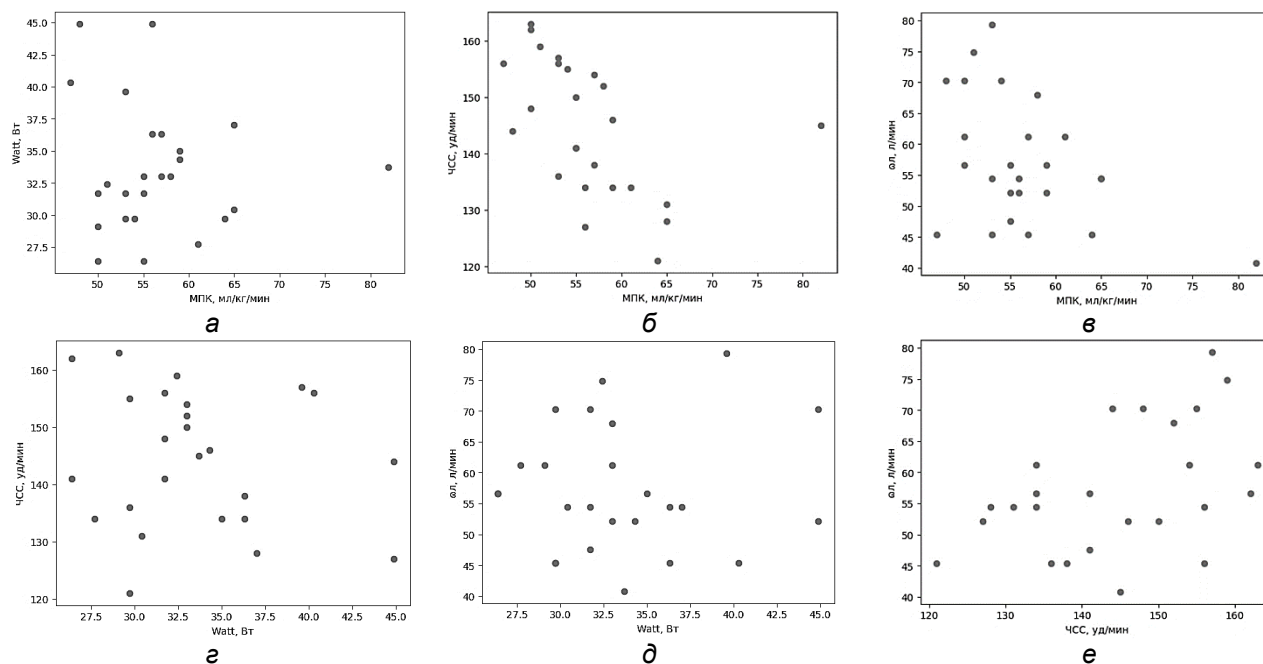


Рис. 3. Двумерная диаграмма рассеяния (3 степень):

а – мощности выполняемой работы и МПК; б – ЧСС и МПК;

в – ЧСС и мощности выполняемой работы; г – легочной вентиляции и МПК;

д – легочной вентиляции и мощности выполняемой работы; е – легочной вентиляции и ЧСС

В целом, коэффициенты корреляции между переменными невелики, что указывает на слабую линейную зависимость между значениями одной переменной значениям другой переменной. Это означает, что изменение одной переменной не оказывает значительного влияния на изменение другой переменной. Однако между МПК и $\omega_{\text{л}}$ наблюдается умеренная отрицательная корреляция, а между ЧСС и $\omega_{\text{л}}$ – умеренная положительная корреляция, что может указывать на то, что эти переменные взаимосвязаны и изменение одной из них может оказывать некоторое влияние на другую. Результаты построения двумерных диаграмм рассеяния с учетом показателей 3 степени приведены на рис. 3.

При расчете коэффициента корреляции Пирсона, с учетом данных при уровне физической нагрузки – 3 степень, могут быть сделаны следующие выводы:

1. Коэффициент корреляции между МПК и мощностью выполняемой работы W_{att} равен $r = -0,11$, это указывает на то, что существует слабая отрицательная корреляция между этими параметрами. Таким образом, обучающиеся с более высокими показателями МПК вырабатывают меньшую мощность W_{att} .

2. Коэффициент корреляции между МПК и ЧСС равен $r = -0,48$, это указывает на то, что существует умеренная отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК вероятно показывают меньшие значения ЧСС, однако эта зависимость не является очень сильной.

3. Коэффициент корреляции между МПК и $\omega_{\text{л}}$ равен $r = -0,44$, это указывает на то, что существует умеренная отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК вероятно показывают меньшие значения легочной вентиляции $\omega_{\text{л}}$, однако эта зависимость является более значимой, но все еще не является очень сильной.

4. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и ЧСС равен $r = 0,15$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, увеличение мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, приведет к увеличению значения ЧСС обучающегося, однако эта зависимость не является значимой.

5. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и $\omega_{\text{л}}$ равен $r = 0,06$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, при увеличении мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, будет увеличиваться значение легочной вентиляции $\omega_{\text{л}}$, однако эта зависимость не является значимой.

6. Коэффициент корреляции между ЧСС и $\omega_{\text{л}}$ равен $r = 0,46$, это указывает на то, что существует умеренная положительная корреляция. Таким образом, при увеличении ЧСС у обучающихся значение легочной вентиляции $\omega_{\text{л}}$, вероятно, будет увеличиваться, однако эта зависимость является более значимой, чем предыдущие две, но все еще не является очень сильной.

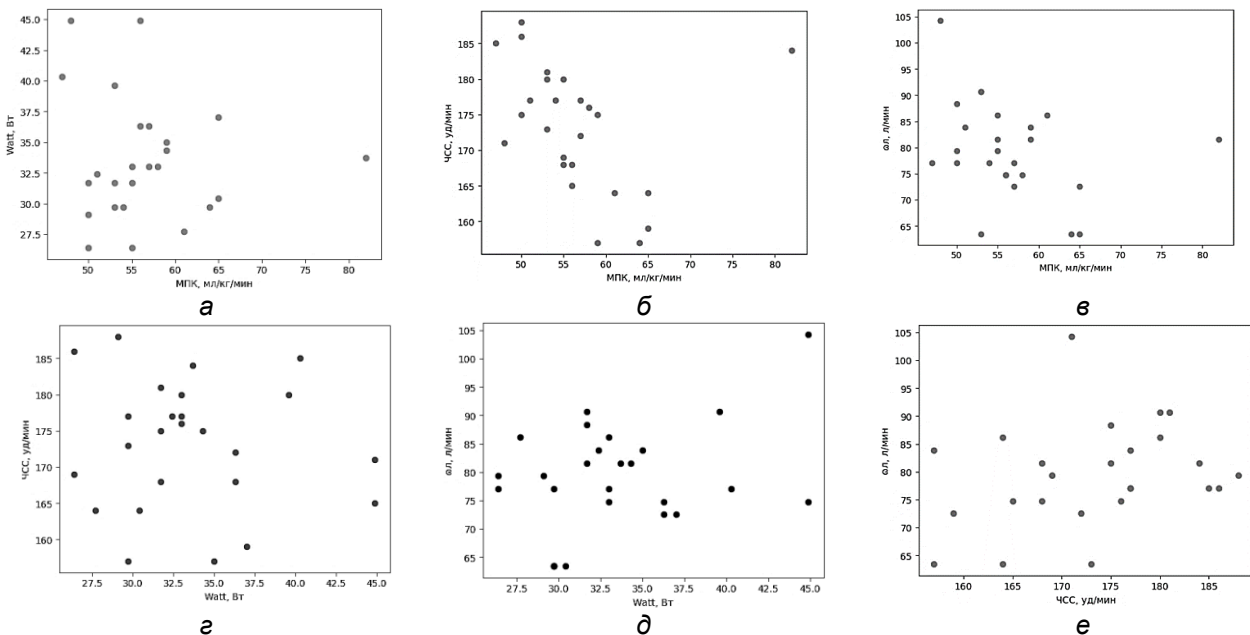


Рис. 4. Двумерная диаграмма рассеяния (4 степень):

а – мощности выполняемой работы и МПК; б – ЧСС и МПК;

в – ЧСС и мощности выполняемой работы; г – легочной вентиляции и МПК;

д – легочной вентиляции и мощности выполняемой работы; е – легочной вентиляции и ЧСС

В целом, коэффициенты корреляции между переменными невелики, что указывает на слабую линейную зависимость между значениями одной переменной значениям другой переменной. Однако между МПК и ЧСС, МПК и ω_n , а также между ЧСС и ω_n наблюдается умеренная отрицательная или положительная корреляция, это может указывать на то, что эти переменные взаимосвязаны и изменение одной из них может оказывать некоторое влияние на другую. Результаты построения двумерных диаграмм рассеяния с учетом показателей 4 ступени приведены на рис. 4.

При расчете коэффициента корреляции Пирсона, с учетом данных при уровне физической нагрузки – 4 ступень, могут быть сделаны следующие выводы:

1. Коэффициент корреляции между МПК и мощностью выполняемой работы W_{att} равен $r = -0,11$, это указывает на то, что существует слабая отрицательная корреляция между этими параметрами. Таким образом, обучающиеся с более высокими показателями МПК вырабатывают меньшую мощность W_{att} .

2. Коэффициент корреляции между МПК и ЧСС равен $r = -0,31$, это указывает на то, что существует умеренная отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК, вероятно, показывают меньшие значения ЧСС, однако эта зависимость является более значимой, чем предыдущая, но все еще не является очень сильной.

3. Коэффициент корреляции между МПК и ω_n равен $r = -0,32$, это также указывает на то, что существует умеренная отрицательная корреляция. Таким образом, обучающиеся с более высоким показателем МПК, вероятно, показывают меньшие значения легочной вентиляции ω_n , однако эта зависимость является более значимой, но все еще не является очень сильной.

4. Коэффициент корреляции между мощностью выполняемой работы W_{att} и ЧСС равен $r = 0,09$, это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, увеличение мощности выполняемой работы W_{att} , вероятно, приведет к увеличению значения ЧСС обучающегося, однако эта зависимость не является значимой.

5. Коэффициент корреляции между W_{att} и ω_n равен $r = 0,32$, это указывает на то, что существует умеренная положительная корреляция. Таким образом, при увеличении мощности выполняемой работы W_{att} , вероят-

но, будут увеличиваться значения легочной вентиляции ω_n , однако эта зависимость является более значимой, чем предыдущая, но все еще не является очень сильной.

6. Коэффициент корреляции между ЧСС и ω_n равен $r = 0,28$, что указывает на слабую положительную корреляцию. Это означает, что при увеличении частоты сердечных сокращений ω_n , вероятно, будет немного увеличиваться, но эта зависимость не является значимой. Это указывает на то, что существует слабая положительная корреляция. Таким образом, при увеличении ЧСС у обучающихся значения легочной вентиляции ω_n , вероятно, будут немного увеличиваться, однако эта зависимость не является значимой.

В целом, коэффициенты корреляции между переменными невелики, что указывает на слабую линейную зависимость между значениями одной переменной значениям другой переменной. Однако между МПК и ЧСС, МПК и ω_n , а также между W_{att} и ω_n наблюдается умеренная отрицательная или положительная корреляция, это может указывать на то, что эти переменные взаимосвязаны и изменение одной из них может оказывать некоторое влияние на другую. На рис. 5 представлены диаграммы рассеяния показателей легочной вентиляции и ЧСС в процессе возрастающей по интенсивности физической нагрузки.

Установлено, что значения легочной вентиляции растут по мере увеличения интенсивности физической нагрузки и демонстрируют положительную линейную зависимость. Значения ЧСС от легочной вентиляции и W_{att} демонстрируют схожую динамику.

На рис. 6 отображены показатели роста значения ЧСС при возрастающей по интенсивности физической нагрузки, кроме того, в ходе исследования установлено, что у обучающихся с низкими показателями МПК регистрировались более высокие значения ЧСС, что подтверждается экспериментальными данными на всех уровнях физической нагрузки.

Анализируя данные, представленные на рис. 6, следует отметить, что наблюдается отрицательная взаимосвязь между показателями МПК и ЧСС. Это дает возможность оценки физической работоспособности в условиях безопасных, не изнуряющих субмаксимальных нагрузок, с последующим вычислением максимального потребления кислорода по номограммам и формулам, предложенным для экстраполяции результатов субмаксимальных нагрузочных тестов.

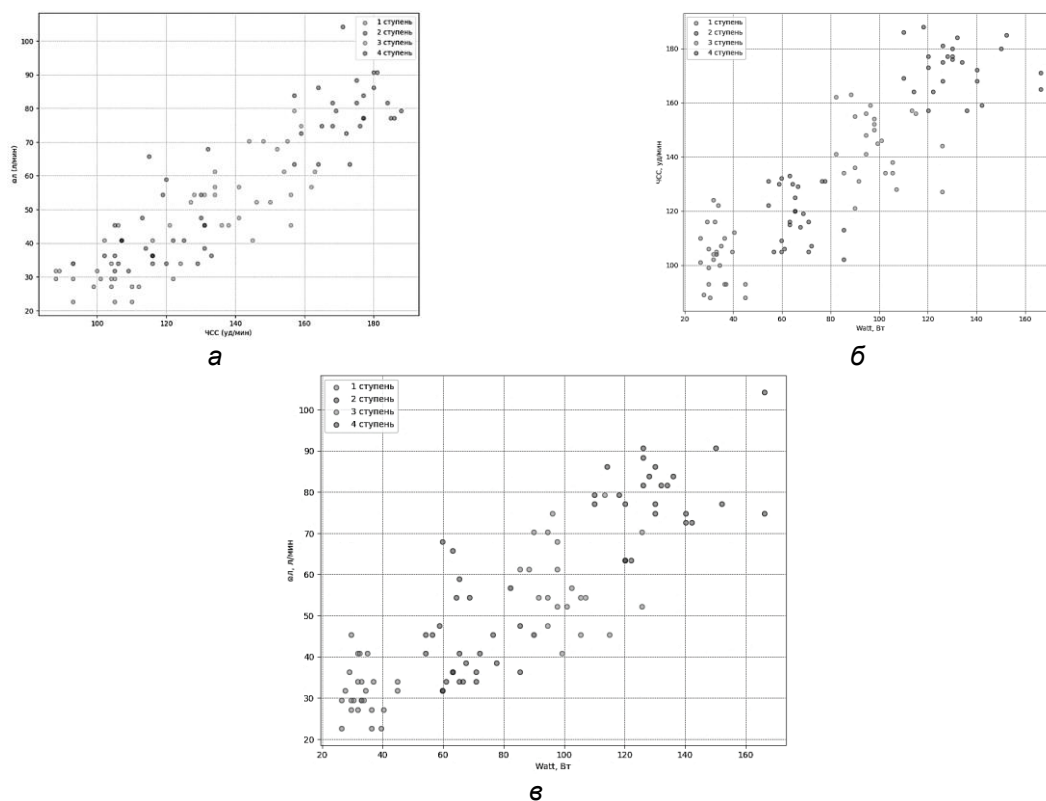


Рис. 5. Диаграммы рассеяния значений легочной вентиляции, ЧСС и мощности при возрастающей по интенсивности физической нагрузки

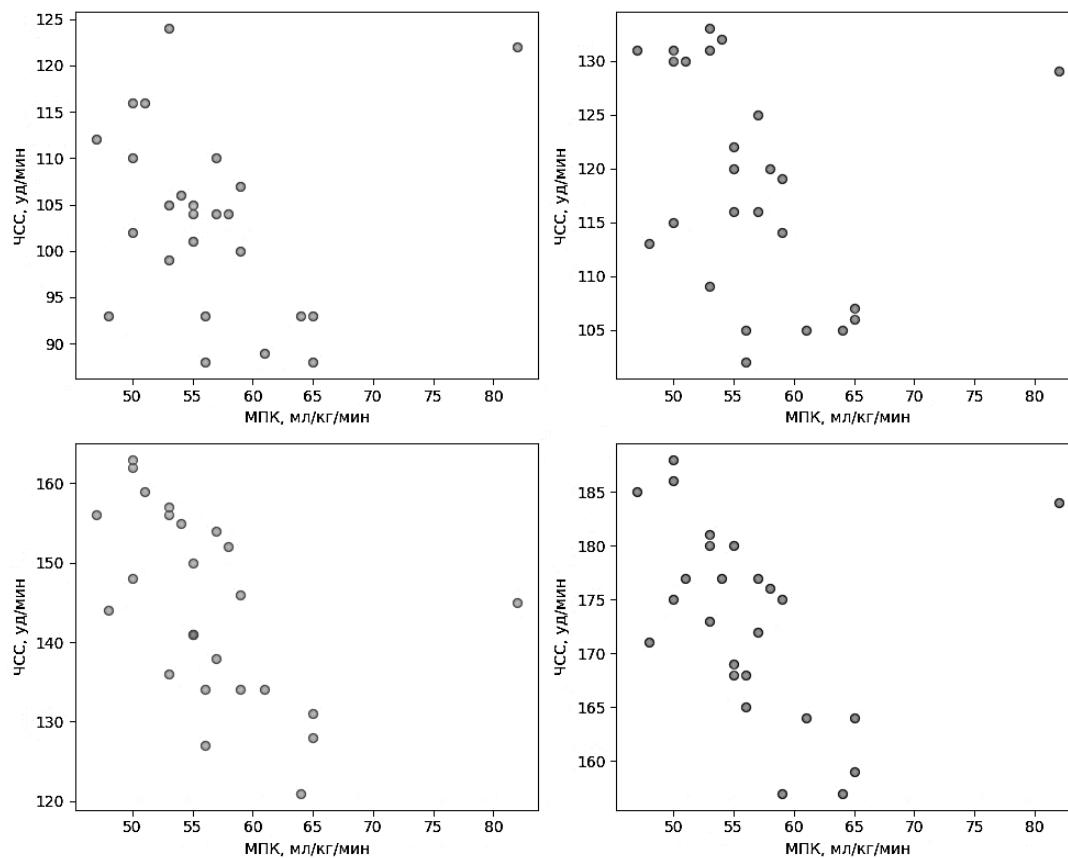


Рис. 6. Диаграммы рассеяния значений МПК и ЧСС при возрастающей по интенсивности физической нагрузки

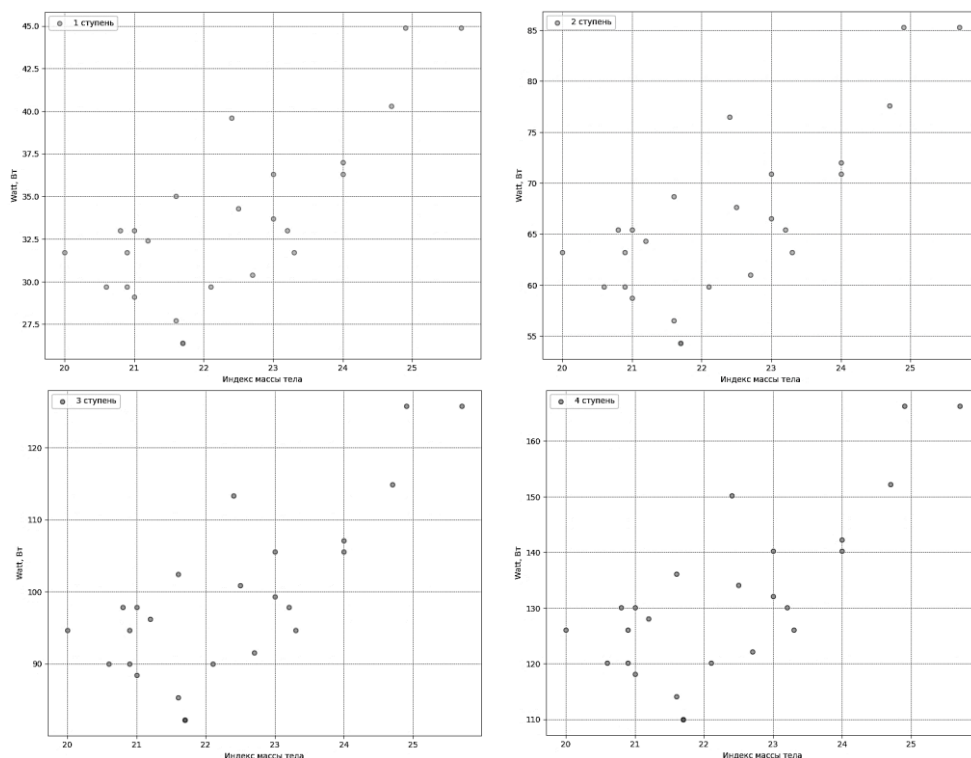


Рис. 7. Диаграммы рассеяния значений Индекса массы тела и мощности при возрастающей по интенсивности физической нагрузки (рис. 7).

Индекс массы тела как показатель, учитывающий антропометрические характеристики газодымозащитников, демонстрирует положительную зависимость от мощности на всех уровнях физических нагрузок. Чем выше показатель индекса массы тела, тем большую энергию необходимо затратить газодымозащитнику при выполнении физической нагрузки (рис. 7).

Выводы

В ходе исследования были получены следующие результаты: при выполнении нагрузки мощностью $W_{att}=34\pm 5$ Вт значения легочной вентиляции составили $\omega_l=32\pm 6$ л/мин, показатели ЧСС= 103 ± 10 уд/мин; при выполнении нагрузки мощностью $W_{att}=66\pm 8$ Вт значения легочной вентиляции составили $\omega_l=44\pm 10$ л/мин, показатели ЧСС= 119 ± 10 уд/мин; при выполнении нагрузки мощностью $W_{att}=99\pm 11$ Вт значения легочной вентиляции составили $\omega_l=58\pm 9$ л/мин, показатели ЧСС= 144 ± 12 уд/мин; при выполнении нагрузки мощностью $W_{att}=132\pm 15$ Вт значения легочной вентиляции составили $\omega_l=79\pm 9$ л/мин, показатели ЧСС= 173 ± 9 уд/мин.

Слабая отрицательная корреляция наблюдается между МПК и W_{att} , МПК и ЧСС, МПК и ω_l . Столь же слабая положительная корреляция проявляется между ЧСС и ω_l на

всех уровнях физической нагрузки. Это объясняется тем, что маленькие выборки могут снижать статистическую мощность для выявления значимых корреляций. На 2 и 3 ступенях физической нагрузки отмечается умеренная отрицательная корреляция между МПК и ω_l , а также умеренная положительная корреляция между ЧСС и ω_l . На 4-ой ступени прослеживается умеренная отрицательная корреляция между МПК и ЧСС, МПК и ω_l , а также умеренная положительная корреляция между ЧСС и ω_l . Значения легочной вентиляции возрастают по мере увеличения интенсивности физической нагрузки, показывая положительную линейную зависимость.

Предварительные результаты, полученные в ходе исследования, служат фундаментом для дальнейшего изучения динамики состояния функциональных систем организма газодымозащитников в условиях повышенного теплового воздействия. Чтобы определить и прогнозировать идеальные интервалы работы газодымозащитников, необходимо увеличить объем выборки и проанализировать время работы при различных мощностях выполняемой работы. Одновременно необходимо учитывать различные физиологические и антропометрические параметры каждого газодымозащитника, а также характер функциональной нагрузки,

связанной с выполнением различных видов работ во время тушения пожаров. Таким образом, мы определяем параметры безопасной работы газодымозащитников, работающих в

составе звеньев ГДЗС, что на сегодняшний день является приоритетной задачей для обеспечения безопасности участников тушения пожара.

Список литературы

1. Оценка влияния высокой температуры воздуха на поведенческую активность и физическую работоспособность животных (в модели на крысах) / В. Е. Крийт, Ю. Н. Сладкова, М. В. Санников [и др.] // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 8. С. 782–786. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-8-782-786. EDN: NEUBNL.

2. Баканов М. О., Захаров Д. Ю. Влияние теплового стресса на эффективность боевых действий пожарных: экспериментальные исследования микроклиматических условий. Постановка задачи // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IX Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 81–85. EDN: FIHBSI.

3. К вопросу защиты пожарных от опасных тепловых воздействий / Д. В. Сорокин, А. Л. Никифоров, И. Ю. Шарабанова [и др.] // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 346–353. EDN: YSRTVY.

4. Гринченко Б. Б., Захаров Д. Ю., Тербнев В. В. Влияние фактора аккумуляции внутреннего тепла на процесс восстановления газодымозащитников // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 5–12. EDN: SOMQPR.

5. Влияние температурно-влажностного режима подкостюмного пространства на защитные свойства боевой одежды пожарного / Д. В. Сорокин А. Л. Никифоров, И. Ю. Шарабанова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 1 (26). С. 44–48. EDN: XRKVZJ.

6. Assessment of physical fitness aspects and their relationship to firefighters' job abilities / M. A. Michaelides [et al.]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2011, vol. 25, issue 4, pp. 956–965. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181cc23ea.

7. Duggan A. Energy cost of stepping in protective clothing ensembles. Ergonomics, 1988, vol. 31, issue 1, pp. 3–11. DOI: 10.1080/00140138808966645.

8. Захаров Д. Ю., Баканов М. О. Физиологические особенности организма при вы-

полнение боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 439–443. EDN: LHMDJA.

9. Бянкин В. В., Бянкина Л. В. Определение максимального потребления кислорода студентов на занятиях по физической культуре // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2014. № 8 (114). С. 42–48. EDN: SLSUFR.

10. Маркова А. А., Усков В. М., Кузнецов Б. В. Физическая подготовка в образовательной среде высших учебных заведений Министерства чрезвычайных ситуаций России как компонент повышения социальной значимости сотрудников Государственной противопожарной службы // Актуальные вопросы репродуктивного здоровья и формирования семейных ценностей у студенческой молодежи Воронежской области: экспертная научно-практическая онлайн-конференция. М., 2020. С. 51–55. EDN: KNKSRQ.

11. Сравнительный анализ нагрузочного тестирования на различных видах эргометров / В. И. Павлов, Е. В. Линде, З. Г. Орджоникидзе [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. 2011. № 1. С. 5–10. EDN: QBDQRV.

References

1. Otsenka vliyaniya visokoi temperaturi vozdukh na povedencheskuyu aktivnost i fizicheskuyu rabotosposobnost zhivotnikh (v modeli na krisakh) [Evaluation of the effect of high air temperature on the behavioural activity and physical performance of animals (in a rat model)] / V. E. Kriit, Yu. N. Sladkova, M. V. Sannikov [et al.]. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, issue 8, pp. 782–786. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-8-782-786. EDN: NEUBNL.

2. Bakanov M. O., Zakharov D. Yu. Vliyanie teplovogo stressa na effektivnost boevikh deistvii pozharnikov: eksperimentalnie issledovaniya mikroklimaticeskikh uslovii. Postanovka zadachi [The effect of heat stress on firefighters' combat effectiveness: an experimental study of microclimatic conditions. Problem statement]. *Pozharotushenie: problemi, tekhnologii, innovatsii: materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. V 2-kh chastyakh,

Moscow: Akademiya Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhbi, 2024, pp. 81–85. EDN: FIHBSI.

3. K voprosu zashchity pozharnykh ot opasnykh teplovykh vozdeistvii [Towards the issue of protecting firefighters from heat hazards] / D. V. Sorokin, A. L. Nikiforov, I. Yu. Sharabanova [et al.]. *Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii*, 2017, pp. 346–353. EDN: YSRTVY.

4. Grinchenko B. B., Zakharov D. Yu., Terebnev V. V. Vliyanie faktora akkumulyatsii vnutrennego tepla na protsess vosstanovleniya gazodimozashchitnikov [Influence of the factor of internal heat accumulation on the recovery process of gas smoke defenders]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2023, issue 1 (46), pp. 5–12. EDN: SOMQPR.

5. Vliyanie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima podkostyumnogo prostranstva na zashchitnye svoystva boevoi odezhdy pozharnogo [Influence of temperature-humidity regime of undersuit space on protective properties of firefighter's combat clothing] / D. V. Sorokin, A. L. Nikiforov, I. Yu. Sharabanova [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2018, vol. 1 (26), pp. 44–48. EDN: XRKVZJ.

6. Assessment of physical fitness aspects and their relationship to firefighters' job abilities / M. A. Michaelides [et al.]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2011, vol. 25, issue 4, pp. 956–965. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181cc23ea.

7. Duggan A. Energy cost of stepping in protective clothing ensembles. *Ergonomics*, 1988, vol. 31, issue 1, pp. 3–11. DOI: 10.1080/00140138808966645.

8. Zakharov D. Yu., Bakanov M. O. Fiziologicheskie osobennosti organizma pri vipolnenii boevykh deistvii po tusheniyu pozharov i

provedeniyu avariino-spasatelnykh rabot [Physiological peculiarities of the organism when performing combat actions on fire extinguishing and carrying out rescue operations]. *Pozharnaya i avariinaya bezopasnost: sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023, pp. 439–443. EDN: LHMDJA.

9. Byankin V. V., Byankina L. V. Opreделение maksimal'nogo potrebleniya kisloroda studentov na zanyatiyakh po fizicheskoi kulture [Determination of maximum oxygen consumption of students in physical education classes]. *Uchenie zapiski universiteta im. P. F. Lesgafta*, 2014, vol. 8 (114), pp. 42–48. EDN: SLSUFR.

10. Markova A. A., Uskov V. M., Kuznetsov B. V. Fizicheskaya podgotovka v obrazovatel'noi srede vysshikh uchebnykh zavedenii Ministerstva chrezvichainykh situatsii Rossii kak komponent povysheniya sotsialnoi znachimosti sotrudnikov Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhbi [Physical training in the educational environment of higher educational institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia as a component of increasing the social significance of the State Fire Service officers]. *Aktualnye voprosy reproduktivnogo zdorov'ya i formirovaniya semeinykh tsennostei u studencheskoi molodezhi Voronezhskoi oblasti: ekspertnaya nauchno-prakticheskaya onlain-konferentsiya*. Moscow, 2020, pp. 51–55. EDN: KNKSQR.

11. Sravnitel'nyi analiz nagruzochnogo testirovaniya na razlichnykh vidakh ergometrov [Comparative analysis of load testing on different types of ergometers] / V. I. Pavlov, E. V. Linde, Z. G. Ordzhonikidze [et al.]. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*, 2011, issue 1, pp. 5–10. EDN: QBDQRV.

Баканов Максим Олегович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса
E-mail: mask-13@mail.ru

Bakanov Maksim 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
doctor of technical sciences, associate professor, head of training and research complex
E-mail: mask-13@mail.ru

Захаров Дмитрий Юрьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт адъюнктуры
E-mail: mr.dmitriy Zakharov@mail.ru

Zakharov Dmitry 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
adjunct of post-graduate courses
E-mail: mr.dmitriyzakharov@mail.ru

Суровегин Антон Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
начальник научно-исследовательского отделения
E-mail: sav-37@mail.ru

Surovegin Anton 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
head of the research division
E-mail: sav-37@mail.ru

Кузнецов Илья Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Научный сотрудник
E-mail: ikuz1999@list.ru

Kuznetsov Il'ya 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
Research Associate
E-mail: ikuz1999@list.ru

Катин Денис Сергеевич

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

Katin Denis Sergeevich

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

УДК 614.841.415:621.31

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ПВХ-ИЗОЛЯЦИИ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

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

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

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

В статье описано исследование влияния термического старения на диэлектрические свойства ПВХ-изоляции кабельных изделий. Впервые получены научные данные о влиянии термического старения на межпроводную ёмкость кабельного изделия с ПВХ-изоляцией, которые могут быть использованы в целях совершенствования научно-обоснованных подходов к обеспечению пожарной безопасности кабельных изделий, а также в целях проведения пожарно-технических экспертиз.

Ключевые слова: ПВХ-изоляция, термическое старение, пожарная опасность, диэлектрическая проницаемость, межпроводная емкость.

DEVELOPMENT OF A SCIENTIFICALLY BASED APPROACH TO ASSESSING THE INFLUENCE OF THERMAL AGING OF PVC INSULATION ON THE FIRE HAZARD OF CABLE PRODUCTS

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

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

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

The article describes the study of the effect of thermal aging on the dielectric properties of PVC insulation of cable products. For the first time, scientific data on the effect of thermal aging on the inter-conductor capacity of a PVC-insulated cable product have been obtained, which can be used to improve scientifically based approaches to ensuring fire safety of cable products, as well as for conducting fire-technical examinations.

Key words: PVC insulation, thermal aging, fire hazard, dielectric constant, interwire capacitance.

Введение

Обеспечение пожарной безопасности является важной задачей для государства. На пожарах за 2022 год погибло 7746 человек. Самой частой причиной крупных пожаров в Российской Федерации является нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования. Наиболее вероятным объектом, на котором возникают пожары по данной причине, является кабельное изделие¹.

Изоляция кабельных изделий в условиях эксплуатации подвержена старению, ко-

торое приводит к ее деструкции. Старение кабельных изделий вызвано комплексом таких факторов, как ультрафиолетовое излучение; повышенная и пониженная температура, а также ее перепады; воздействия электрического тока; повышенная влажность и другие. Вместе с тем, ключевым негативным фактором, который воздействует на изоляцию кабельных изделий при внутренней скрытой прокладке, является повышенная температура. Действие остальных факторов нивелируется способом прокладки, за исключением электрического поля, воздействие которого существенно ниже влияет на скорость деструкции материалов изоляции. Основным материалом, который используется при производстве изоляции кабельных изделий, является поливинилхлорид (ПВХ).

© Богданов И. А., Шабунин С. А., Ульяева С. Н., Никифоров А. Л., 2024

¹ Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналитич. сб. / В. С. Гончаренко [и др.]. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.

В работе [1] проводился анализ нормативного регулирования обеспечения пожарной безопасности кабельной продукции, по результатам которого был сформулирован вывод об отсутствии системы нормативного регулирования оценки влияния процессов старения на пожарную опасность изоляции кабельных изделий.

Актуальность работы обоснована подпунктом «д» пункта 21 Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации² и заключается в существующем противоречии между количеством пожаров по причине аварийных режимов работы электропроводок, вызванных деструкцией изоляции кабельных изделий, и отсутствием научно-обоснованных нормативно-утвержденных методов оценки качества ПВХ-изоляции кабельных изделий, позволяющих определить их пожарную опасность в процессе эксплуатации и выработать методы ее снижения.

На сегодняшний день существует большое количество работ, связанных с оценкой влияния старения на безопасность и качество кабельных изделий [2–6]. Большинство работ посвящено оценке диэлектрических характеристик изоляции кабельного изделия или оценке ее горючести. Вместе с тем, необходим комплексный подход к оценке влияния процессов старения на пожарную опасность кабельных изделий, в рамках которого будет рассматриваться материал изоляции как горючее вещество, и возможность возникновения источника зажигания вследствие аварийного режима работы электропроводки.

Цель работы: исследовать влияние термического старения на диэлектрические свойства ПВХ-изоляции кабельных изделий.

Объект исследования: термическое старение ПВХ-изоляции кабельных изделий в условиях эксплуатации.

Предмет исследования: влияние термического старения ПВХ-изоляции провода АППВ 2х2,5 в условиях эксплуатации на его емкость. Выбор данной марки провода обусловлен его широким использованием на объектах защиты.

Научная новизна: впервые получены научные данные о влиянии термического старения на межпроводную емкость кабельного изделия с ПВХ-изоляцией.

Теоретическая значимость: сформулированы научные основы, необходимые для оценки влияния термического старения на межпроводную емкость кабельного изделия с ПВХ-изоляцией.

Практическая значимость: полученные экспериментальные данные найдут применение в целях совершенствования научно-обоснованных подходов к обеспечению пожарной безопасности кабельных изделий, а также в целях проведения пожарно-технических экспертиз, в том числе для определения условий деликтной ответственности за вред, причиненный пожаром.

Методы исследования

5 образцов провода АППВ 2х2,5 длиной 100 мм выдерживались при температуре 200 °С в окислительной среде воздуха в течение 14 часов. Измерение массы образцов проводилось каждые 2 часа при помощи электронных лабораторных весов «ВК-600.1». Также проводили измерения межпроводной емкости цифровым мультиметром «Mastech MY65». Полученные результаты измерения показателей массы и межпроводной емкости обрабатывались в соответствии с методами математической статистики.

Обсуждение результатов

Ранее нами [7–9] проводились исследования влияния термического старения на пожарную опасность ПВХ-изоляции кабельных изделий. Пожарная опасность кабельных изделий обусловлена тем, что ПВХ-изоляция является горючим материалом, а также вероятностью возникновения аварийных режимов работы электропроводок, которые могут привести к возгоранию. Одними из наиболее частых причин пожаров являются дуговой пробой и короткое замыкание. Основным устройством защиты электропроводок является автоматический выключатель, который не способен обеспечить защиту электропроводки от дугового пробоя, который обусловлен снижением изолирующей способности диэлектриков.

Эффективность использования полимеров в качестве диэлектриков в кабельных изделиях определяется их химическим составом и структурой. Изменение химического состава и структуры в процессе эксплуатации приводит к ухудшению их электроизолирующих свойств и способствует повышению вероятности возникновения пожаров. Ранее методами ИК-спектроскопии (рис. 1) было показано, что при старении ПВХ-изоляции происходит изменение ее химического состава и структуры [9].

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 1, были использованы для качественной и количественной оценки изменений в структуре полимера. Было проанализировано соотношение оптических плотностей характеристических полос спектра (D), которое принято называть спектральным критерием (таблица).

² Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

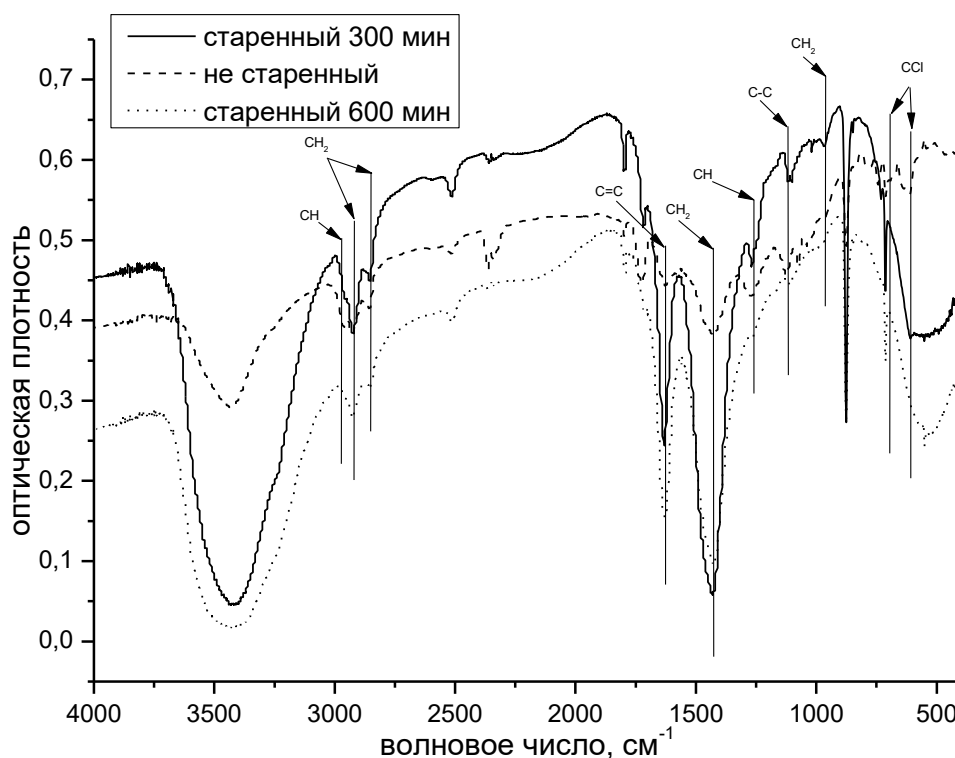


Рис. 1. Спектральные характеристики ПВХ-изоляции [9]

Таблица. Соотношение оптических плотностей характеристических полос ИК-спектров ПВХ-изоляции [9]

Время ускоренного старения, мин / температура, °C	Спектральный критерий для химических связей в интервале характерных частот		
	D(551) / D(607), C-Cl вал.	D(675) / D(688), C-Cl вал.	D(1570) / D(1635), C=C вал.
0	1,12	1,02	1,05
300/220	1,02	0,96	1,87
600/220	0,92	0,96	2,29

Исходя из данных таблицы, можно судить о следующих изменениях в структуре и составе ПВХ-изоляции кабельных изделий:

1. Интенсивность колебаний связи C-Cl в результате термического старения снижается, что позволяет говорить о снижении количества хлоридных групп в составе ПВХ-пластиката.

2. Интенсивность колебаний C=C связи повышается, это говорит о том, что в результате реакции дегидрохлорирования ПВХ в процессе термического старения перестраивается химическая структура ПВХ с образованием полиеновых последовательностей C=C, что может привести к снижению электроизолирующих свойств ПВХ-изоляции.

Одним из показателей, характеризующих электроизолирующую способность веществ, является диэлектрическая проницае-

мость. Чем выше данный показатель, тем хуже электроизолирующая способность. Оценить изменение диэлектрических свойств изоляции кабельных изделий можно посредством измерения межпроводной емкости. В определенном приближении две токоведущие жилы образуют электрическую ёмкость, величина которой может быть рассчитана по формуле (1):

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (1)$$

где C — межпроводная емкость, Ф;
 ε — диэлектрическая проницаемость вещества;
 ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума;
 S — площадь обкладки, м²;
 d — расстояние между обкладками, м.

Таким образом, изменение межпроводной емкости в рассматриваемой системе будет определяться только изменением диэлектрической проницаемости изоляции, величина которой является суперпозицией величин ди-

электрической проницаемости всех соединений, входящих в её состав.

На рис. 2 представлен график, иллюстрирующий зависимости средних значений массы образцов и межпроводной емкости от времени термического воздействия.

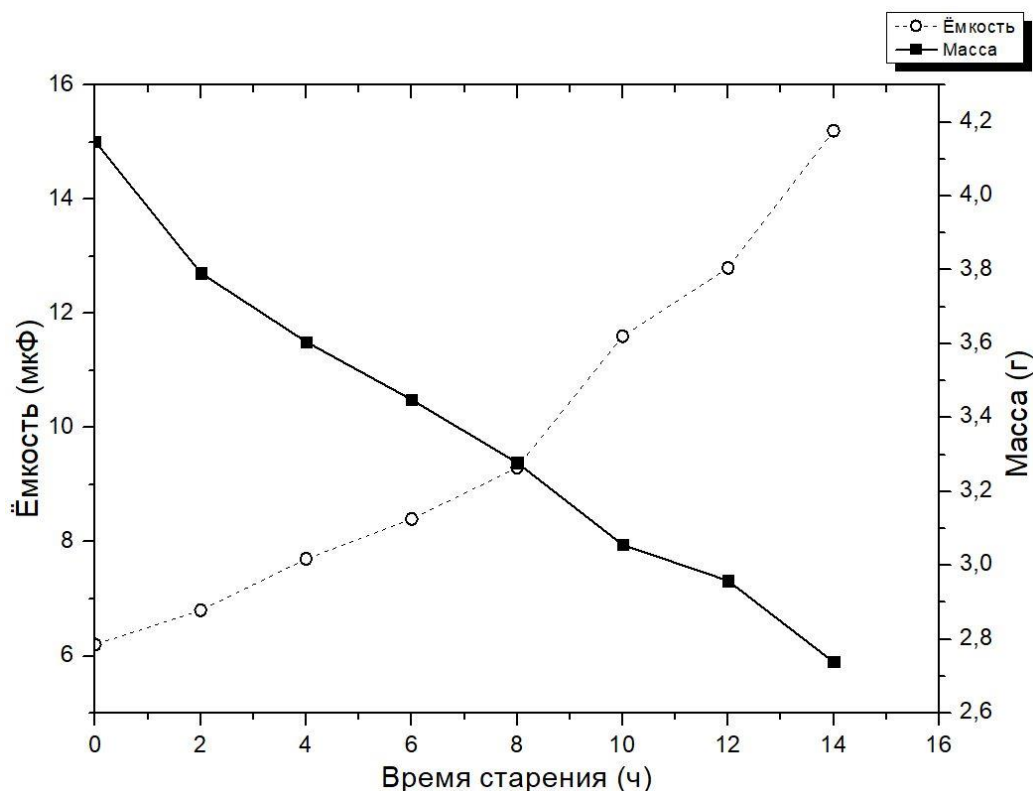


Рис. 2. Зависимости средних значений массы образцов и межпроводной емкости от времени термического воздействия

Как видно из экспериментальных данных, в процессе термического воздействия масса исследуемых образцов уменьшается, а межпроводная емкость увеличивается. Увеличение емкости вызвано повышением значений диэлектрической проницаемости ПВХ-изоляции, что напрямую связано с изменением её химического состава и структуры.

Таким образом, можно предположить, что в процессе старения происходят одновременно три процесса, влияющих на изменение диэлектрической проницаемости и, как следствие, межпроводной емкости:

- испарение пластификатора с диэлектрической проницаемостью в 1,5 раза выше, чем у ПВХ³;

- термодеструкция ПВХ с образованием полиеновых последовательностей углерода в полимерной цепи ПВХ, которые обладают более высокой диэлектрической проницаемостью [10, 11];

- термоокислительная деструкция ПВХ с образованием различных продуктов, имеющих кислородосодержащие группы в полимерной цепи, которые обладают более высокой диэлектрической проницаемостью (например, хлорацетоновые ($\epsilon = 30$)³ [12].

Выводы

Снижение массы и повышение межпроводной ёмкости в процессе термического воздействия на исследуемые образцы позволяет сделать следующие выводы:

1. В процессе термического старения кабельных изделий с ПВХ-изоляцией происходит термоокислительная деструкция, которая приводит к ухудшению электроизолирующих свойств.

³ Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. М.: Энергоатомиздат, 1986, т. 1; 1987, т. 2; Л.: Энергоатомиздат, 1988, т. 3.

2. Ухудшение электроизолирующих свойств ПВХ-изоляции в процессе термического старения кабельных изделий возникает вследствие образования полиеновых последовательностей углерода в полимерной цепи ПВХ, а также образования продуктов с кислородосодержащими группами.

Список литературы

1. Проблемы нормативного регулирования обеспечения пожарной безопасности кабельной продукции / И. А. Богданов, С. Н. Ульева, С. А. Шабунин [и др.] // 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. 73–76. EDN: UENCOM.

2. Математическое моделирование срока службы полимерной изоляции кабелей / Д. А. Поляков, М. А. Холмов, Д. И. Плотников [и др.] // Омский научный вестник. 2020. № 6 (174). С. 69–73. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-174-69-73. EDN: MEJAUM.

3. Исследование влияния термической деструкции на срок службы изоляции кабелей / В. Н. Пугач, Д. А. Поляков, К. И. Никитин [и др.] // Омский научный вестник. 2019. № 6 (168). С. 70–74. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-168-70-74. EDN: TZEWPV.

4. Определение критерия возникновения пробоя СПЭ-изоляции кабелей для исследования процессов ее старения / Д. А. Поляков, К. И. Никитин, И. В. Комаров [и др.] // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Том 1. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. С. 172–175. EDN: ZIWYAF.

5. Андреев И. А. Разработка методики идентификации дефектов изоляции электроэнергетического оборудования по статистическим характеристикам частичных разрядов: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.09.02. СПб, 2013. 16 с. EDN: SVDZBV.

6. Статистическое моделирование старения изоляции / К. С. Иванова, К. И. Никитин, Д. А. Поляков [и др.] // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2013. № 2. С. 252–254. EDN: RSSOIT.

7. Оценка влияния температурных воздействий на пожарную опасность изоляции на основе ПВХ-диэлектриков / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 64–70. EDN: FEMJQY.

3. Возможное улучшение электроизолирующих свойств ПВХ-изоляции кабельных изделий за счет испарения пластификатора в процессе термического старения нивелируется вышеописанными процессами.

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

9. Исследование термического старения ПВХ-изоляции кабельной продукции методом ИК-спектроскопии / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, А. А. Кочетова [и др.] // Полимерные материалы пониженной горючести: сборник материалов XI Международной конференции. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. С. 36–39. EDN: JYUTEU.

10. Янборисов В. М., Борисевич С. С. Механизм инициирования и роста полиеновых последовательностей при термической деструкции поливинилхлорида // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2005. Т. 47, № 8. С. 1478–1490. EDN: HSGIFF.

11. Кузнецов С. М., Годяева М. М. Дegradaция ПВХ при термо- и УФ-воздействиях: данные спектроскопии КР // Школа-конференция молодых учёных «Прохоровские недели»: Тезисы докладов школы-конференции. М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук», 2022. С. 35–37. DOI: 10.24412/cl-35673-2022-1-35-37. EDN: MZUAKW.

12. О механизме деструкции поливинилхлорида / Н. А. Лавров, К. Колерт, В. Г. Ксенофонов [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2012. № 16 (42). С. 031–035. EDN: PKYQGD.

References

1. Problemy normativnogo regulirovaniya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti kabel'noj produkcii [Problems of regulatory regulation of fire safety of cable products] / I. A. Bogdanov, S. N. Ul'eva, S. A. Shabunin [et al.]. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernyh sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob'ektov: Sbornik materialov x vserossijskoj nauchno-

prakticheskoy konferencii. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 73–76. EDN: UEHCOM.

2. Matematicheskoe modelirovanie sroka sluzhby polimernoy izolyacii kabelej [Mathematical modeling of the service life of polymer cable insulation] / D. A. Polyakov, M. A. Holmov, D. I. Plotnikov [et al.]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2020, vol. 6 (174), pp. 69–73. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-174-69-73. EDN: MEJAUM.

3. Issledovanie vliyaniya termicheskoy destrukcii na srok sluzhby izolyacii kabelej [Investigation of the effect of thermal degradation on the service life of cable insulation] / V. N. Pugach, D. A. Polyakov, K. I. Nikitin [et al.]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2019, vol. 6 (168), pp. 70–74. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-168-70-74. EDN: TZEWPV.

4. Opredelenie kriteriya vozniknoveniya proboya SPE-izolyacii kabelej dlya issledovaniya processov ee stareniya [Determination of the criterion for the occurrence of breakdown of the SPE insulation of cables for the study of its aging processes] / D. A. Polyakov, K. I. Nikitin, I. V. Komarov [et al.]. *Elektroenergetika glazami molodezhi - 2017: materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, vol. 1. Samara: Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2017, pp. 172–175. EDN: ZIWYAF.

5. Andreev I. A. Razrabotka metodiki identifikacii defektov izolyacii elektroenergeticheskogo oborudovaniya po statisticheskim harakteristikam chastichnyh razryadov. Avtoreferat kand. tekhn. nauk [Development of a methodology for identifying insulation defects of electric power equipment based on the statistical characteristics of partial discharges. Abstract cand. tech. sci. diss.]. SPb., 2013, 16 p. EDN: SVDZBV.

6. Statisticheskoe modelirovanie stareniya izolyacii [Statistical modeling of insulation aging] / K. S. Ivanova, K. I. Nikitin, D. A. Polyakov [et al.]. *Rossiya molodaya: peredovye tekhnologii – v promyshlennost'*, 2013, issue 2, pp. 252–254. EDN: RSSOIT.

7. Ocenka vliyaniya temperaturnyh vozdeystvij na pozharnuyu opasnost' izolyacii na osnove PVH-dielektrikov [Assessment of the effect of temperature influences on the fire hazard of insulation based on PVC dielectrics] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul'eva [et al.]. *Sov-*

remennye problemy grazhdanskoj zashchity, 2022, vol. 4 (45), pp. 64–70. EDN: FEMJQY.

8. K voprosu o razrabotke novogo podhoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya na pozharnuyu opasnost' PVH-izolyacii elektrokabel'nyh izdelij na osnove pokazatelya kislorodnogo indeksa [On the issue of developing a new approach to assessing the effect of thermal aging on the fire hazard of PVC insulation of electrical cable products based on the oxygen index] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul'eva [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 2 (47), pp. 54–60. EDN: CBTDDM.

9. Issledovanie termicheskogo stareniya PVH-izolyacii kabel'noj produkcii metodom IK-spektroskopii [Investigation of thermal aging of PVC insulation of cable products by IR spectroscopy] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, A. A. Kochetova [et al.]. *Polimernye materialy ponizhennoj goryuchesti: sbornik materialov XI Mezhdunarodnoj konferencii*. Volgograd: Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2023, pp. 36–39. EDN: JYUTEU.

10. Yanborisov B. M., Borisevich S. S. Mekhanizm iniciirovaniya i rosta polienovyh posledovatel'nostej pri termicheskoy destrukcii polivinilhlorida [The mechanism of initiation and growth of polyene sequences during thermal degradation of polyvinyl chloride]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*, Seriya A, 2005, vol. 47, issue 8, pp. 1478–1490. EDN: HSGIFF.

11. Kuznecov S. M., Godyaeva M. M. Degradaciya PVH pri termo- i UF-vozdeystviyah: dannye spektroskopii KR [Degradation of PVC under thermal and UV influences: Raman spectroscopy data]. *Shkola-konferenciya molodyh uchonyh «Prohorovskie nedeli»: tezisy dokladov shkoly-konferencii*. Moskva: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Federal'nyj issledovatel'skij centr «Institut obshchej fiziki im. A. M. Prohorova Rossijskoj akademii nauk», 2022, pp. 35–37. DOI: 10.24412/cl-35673-2022-1-35-37. EDN: MZUAKW.

12. O mekhanizme destrukcii polivinilhlorida [About the mechanism of destruction of polyvinyl chloride] / N. A. Lavrov, K. Kolert, V. G. Ksenofontov [et al.]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*, 2012, vol. 16 (42), pp. 031–035. EDN: PKYQGD.

Богданов Илья Андреевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт очной формы обучения
E-mail: i.a.bogdanov@bk.ru

Bogdanov Ilya Andreevich

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

Шабунин Сергей Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, научный сотрудник
sergeyshabunin@yandex.ru

Shabunin Sergey 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 chemical sciences, Research Associate
E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Ульева Светлана Николаевна

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

Ulieva Svetlana Nikolaevna

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

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор
E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Alexander Leonidovich

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

УДК 614.843

ВОЗМОЖНОСТЬ УПРОЩЕНИЯ ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ

А. Г. БУБНОВ, А. Н. БОЧКАРЁВ, В. В. ВОЛКОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: bubag@mail.ru

В работе излагаются результаты попытки доработки методического подхода, разработанного Сараевым И. В. в Ивановской пожарно-спасательной академии, обосновывающего выбор и совершенствование пожарно-технического оборудования и вооружения, на примере пожарных стволов (ПС) в ФГКУ СПСЧ г. Иваново. За основу для осуществления расчётов была взята статистическая информация, включая статистику отказов ПС, их марки и оснащённость, на территории подрайона выезда ФГКУ СПСЧ. Расчёт показателя относительной общей пользы эксплуатации ПС осуществлялся по двум вариантам: по данным об отказах ПС и по гарантийным срокам эксплуатации (обязательствах производителя). По полученным значениям показателя для каждого варианта и марки ПС были построены гистограммы предпочтительности для выбора/оснащения стволов. Далее – на основе суммирования занятых мест в каждом варианте расчёта был получен итог – данные по местам (учитывающие результаты оценок показателя относительной общей пользы применения ПС). Из ПС, применяемых в СПСЧ, вполне приемлемые результаты получены по ручному стволу комбинированному универсальному (марка РСКУ 70А, регулировка расхода струи пено-гасящего средства возможна в диапазоне от 0 (ствол перекрыт) до 4-15 л/с; производитель ООО «ИЦПР «Эфэр»», г. Петрозаводск).

Ключевые слова: пожарные стволы, общая польза применения, надёжность эксплуатации, обоснование выбора, оснащение подразделений.

POSSIBILITY TO SIMPLIFY THE SELECTION OF FIRE BARRELS

A. G. BUBNOV, A. N. BOCHKARYOV, V. V. VOLKOV

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

The paper presents the results of an attempt to refine the methodological approach developed by I. V. Saraev at the Ivanovo Fire and Rescue Academy, justifying the choice and improvement of fire-technical equipment and weapons, using the example of fire barrels in the Federal State Budgetary Institution of the Russian Federation of Emergency Situations in Ivanovo. Statistical information was taken as the basis for the calculations, including statistics on failures of fire barrels, their brands and equipment, on the territory of the subdistrict of the FGKU SPSCCH exit. The calculation of the indicator of the relative overall benefit of PS operation was carried out according to two options: according to data on failures of fire barrels and according to warranty periods of operation (manufacturer's obligations). According to the obtained values of the indicator, histograms of preference for the selection/equipping of barrels were constructed for each variant and brand of PS. Further, based on the summation of occupied places in each calculation variant, the result was obtained – data on places (taking into account the results of estimates of the relative overall benefit of using fire barrels). Of the fire barrels used in the emergency situations, quite acceptable results were obtained for a hand-held universal combined barrel (brand RSKU 70A, adjustment of the flow rate of the foam extinguishing agent jet is possible in the range from 0 (the trunk is blocked) to 4-15 l/s; manufacturer LLC ICPR Efer, Petrozavodsk).

Key words: fire barrels, general use, reliability of operation, justification of choice, equipment of units.

Введение

Как известно, для тушения пожаров и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) на промышленных объектах, транспорте и в лесах пожарно-спасательными подразделениями (ПСП) МЧС России используется широкий перечень аварийно-спасательных средств, одним из которых являются пожарные стволы [1], предназначенные для тушения пожаров¹.

Исходя из сложившейся ситуации с пожарами и техногенными ЧС на территории России была принята Государственная программа Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах»², основной целью которой является «...повышение уровня защищённости населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов, а также при чрезвычайных ситуациях, пожарах и происшествиях на водных объектах». С учётом положений этого документа мы разрабатывали методику для обоснованного выбора и совершенствования технического оснащения ПСП МЧС России при тушении пожаров и ликвидации ЧС, учитывающую особенности субъекта РФ на территории которого расположено ПСП (в основе методики лежит концепция «оправданности деятельности» и/или «польза – вред»).

Целью работы являлась доработка методики для упрощения обоснования выбора (и, по возможности), совершенствования технического оснащения ПСП МЧС России на основе показателей надёжности и критериев относительной пользы эксплуатации пожарных стволов.

Материал

и методы исследования

Объектом исследования в данной работе стали пожарные стволы, используемые ФГКУ «СПСЧ ФПС по Ивановской области» для ликвидации пожаров.

Суть методики заключается в использовании комплексного показателя «относительная общая польза» (W) как основного кри-

терия эффективности применения (использования) пожарных стволов в нашем случае на территории Ивановской области. «Относительная общая польза» рассчитывается как [2] отношение математического ожидания ущерба от внезапного прекращения работы (отказа) оборудования к сумме величины уровня техногенного риска в стоимостном выражении и затрат на снижение уровня техногенного риска эксплуатации пожарных стволов (ПС).

$$W = \frac{Y_{np}}{C + R} \quad (1)$$

где: Y_{np} — эквивалент денежной стоимости от предотвращения отказа (выхода из строя) ПС при тушении пожаров, руб.;

C — эксплуатационные расходы, руб./год (стоимость проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту в течение года);

R — математическое ожидание ущерба от риска отказа ПС, руб.

$$R = Q(t) \cdot Y_{np} \quad (2)$$

где: Q — вероятность отказа конкретного ПС.

В случае с ПС величина ущерба от предотвращения негативных последствий может приниматься равной статистической стоимости жизни (S_v) — поскольку за ущерб принимается потеря здоровья или гибель пострадавшего, из-за возрастания времени ликвидации пожара и/или несвоевременного оказания медицинской помощи.

$$Y_{np} = S_v = GRP \cdot \frac{T_{cp}}{N} \quad (3)$$

где GRP — валовой региональный продукт (в нашем случае — GRP Ивановской области);

T_{cp} — средняя продолжительность жизни населения в субъекте, лет (здесь — по городу Иваново);

N — число жителей субъекта России.

Отметим, что за величину Y_{np} , на территории России, можно принять данные, публикуемые лидерами страхового рынка, например, ИНГОССТРАХОм (стоимость страхования жизни в России — см. сайт <https://www.ingos.ru/>).

Так как вероятность отказа $Q(t)$ может быть рассчитана из величины вероятности безотказной работы ($P(t)$), первоначально необходимо найти значения последней. По

¹ ГОСТ Р 53331-2009 Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования методы испытаний.

² Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 300 «О государственной программе Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах»».

имеющейся статистике эксплуатации того или иного пожарного ствола, $P(t)$ можно рассчитать по формуле³:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} \quad (4)$$

где: N_0 — количество работоспособных ПС в начальный отрезок времени; $n(t)$ — количество отказавших ПС за время t .

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (5)$$

где: $P(t)$ — вероятность безотказной работы ПС.

В качестве исходных данных для осуществления расчётов была взята статистическая информация, наиболее полно отражающая условия и характер эксплуатации ПС в г. Иваново, а также статистика отказов ПС на территории подрайона выезда ФГКУ «СПСЧ ФПС по Ивановской области». Для ликвидации пожаров СПСЧ г. Иваново применяет ПС марок РСК 50, РСК 70, СРП 50Р, ОПТ 50, РСКУ 50, РСКУ 70, Delta H500 MID-RANGE, Delta Attack 750. Именно поэтому статистические данные по эксплуатации этих марок ПС и были взяты в качестве исходной информации при проведении расчётов по формуле (1).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчётов приведены в табл. 1 и на рис. 1. Данные табл. 1 и рис. 1 демонстрируют, что практически все применяе-

мые ПС в СПСЧ относительно одинаково «полезны» ввиду близких значений W (за исключением ствола РСК 50). Кроме того, анализ данных табл. 1 и рис. 1 показывает, что полученными результатами по ПС «DELTA ATTACK 750» и «DELTA H500 MID-RANGE» можно пренебречь т.к. в СПСЧ г. Иваново применялось (в рассматриваемом промежутке времени) лишь по одному комплекту стволов данных марок, а этого явно недостаточно для сравнительной характеристики их надёжности и эффективности применения.

Результаты расчётов для ПС марок РСК 70, РСКУ 70, ОПТ 50 показывают, что именно по этим стволам получены наибольшие значения W_1 для сопоставляемых. Здесь отметим, что работа с данными ПС даёт не всегда стабильные результаты в практическом применении, что объясняется спецификой субъектов Российской Федерации, на территории которых расположено то или иное ПСП МЧС России (например, часто пониженными температурами во время эксплуатации). Отметим, что статистические данные использования ПС показывают, что стволы марок РСК 70, РСКУ 70, ОПТ 50, DELTA H500 MID-RANGE, DELTA ATTACK 750 за рассматриваемый нами промежуток не отказывали. Таким образом, проблема выбора надёжного пожарного оборудования только по статистическим данным «в лоб» не решается. В работах Сараева И.В. [2], [3], [4] и группы авторов [5] предлагался и был обоснован подход, предусматривающий использование только формул (1), (2) и (3), представленных выше.

Таблица 1. Распределение мест на основе расчётов показателя «относительной общей пользы» для пожарных стволов на основе фактических данных (W_1) по отказам (на 2022 г.)

Показатель	Марки основных пожарных стволов, применяемых в СПСЧ г. Иваново							
	РСК 50	РСК 70	РСКУ 50	РСКУ 70	СРП 50Р	ОПТ 50	DELTA H500	DELTA 750
N_0	4	4	3	2	4	3	1	1
$n(t)$	1	0	1	0	2	0	0	0
$Q(t)$	0,25	0	0,33	0	0,5	0	0	0
R , руб.	2,5	0	3,39	0	5,15	0	0	0
C , руб.	5000							
$Y_{пр}(S_v)$, тыс. руб.	10,3							
W_1	2,051	2,060	2,058	2,060	2,057	2,060	2,060	2,060
Место по значению W_1	4	1	3	1	2	1	1	1

³ ГОСТ 27.301-95 Надёжность в технике. Расчёт надёжности. Основные положения. Межгосударственный стандарт.

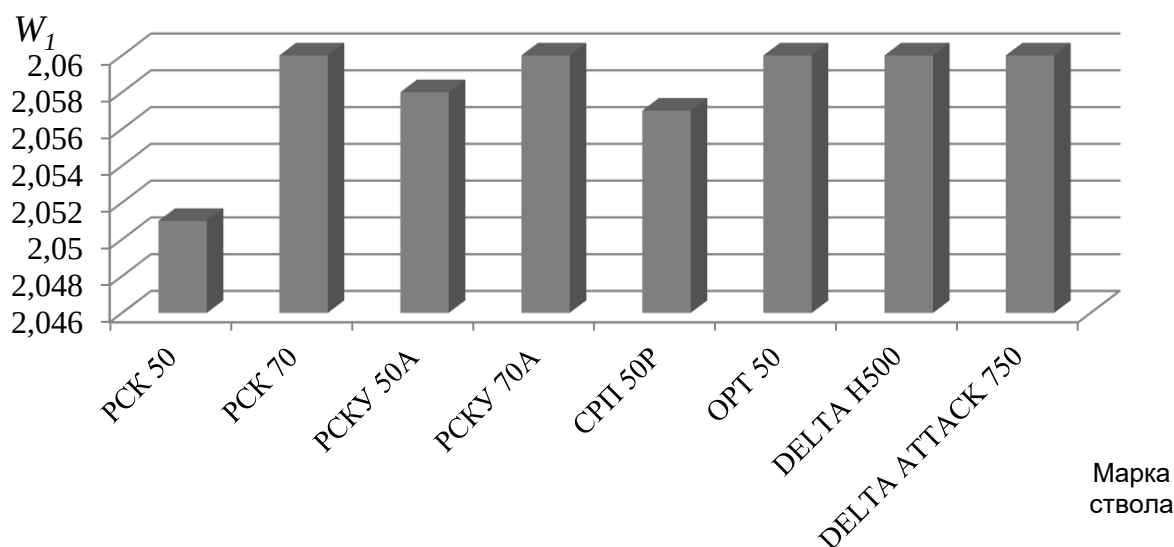


Рис. 1. Значение относительной «пользы» пожарных стволов, стоящих на вооружении СПСЧ города Иванова.

Известно [6] и [7], что вероятность отказа оборудования можно рассчитать по формуле (для систем, не имеющих длительных периодов приработки):

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

где: t – прогнозируемое время работы ствола за год.

Интенсивность отказов можно оценить исходя из предположения, что наработка ПС подчиняется экспоненциальному закону распределения. Тогда $\lambda = \text{const}$ [7] и:

$$\lambda = T^{-1} \quad (7)$$

где: λ – интенсивность отказов при экспоненциальном распределении, ч^{-1} [6]–[7].

Время работы ствола за год:

$$t = S \cdot N_u \cdot n \quad (8)$$

где: t – время работы ствола;

S – срок службы ствола по данным гарантийных обязательств предприятия-изготовителя, год;

N_u – число стволов используемых в сутки (на пожарах);

n – количество дней в году (365 суток).

По данным, опубликованным на сайте i3vestno.ru (<https://i3vestno.ru/news/2023/02/01/>), известно, что в 2022 году в Ивановской области произошло 3237 пожаров, в которых погибли 93 человека и 60 пострадали. При этом в 2021 и 2022 годах зарегистрировано 27 и 23 пожара в лесных массивах, соответственно (<https://ivteleradio.ru/news/2023/08/14/>). Нами в расчётах использовались следующие статистические данные за 2022 год для Ивановского гарнизона (см. сайты <http://37.mchs.gov.ru/> и <https://ivgoradm.ru/ugochs/info.htm>) – см. табл. 2.

Согласно данным табл. 2 СПСЧ выезжала на тушение пожаров не более 273 раз в 2022 году, т. е. собственно в среднем для тушения было не более 1 выезда в сутки. Таким образом, за один 2022 год, ПСП на СПСЧ выезжали не чаще 1 раза за сутки на пожар, используя при этом минимальное количество пожарных стволов 2 ($t = 2 \cdot 1 \cdot 365 = 730 \text{ ч}$).

Таблица 2. Оперативные данные возникновения пожаров на территории города Иванова отдела надзорной деятельности по г. Иваново ГУ МЧС России по Ивановской области (2020–2022 гг.)

Вид учета	2022 г.	2021 г.	2020 г.
Всего зарегистрировано пожаров	273	287	301
В том числе пожары на автотранспортных средствах	35	43	46
Погибло на пожарах, человек	14	10	10
Получили травмы различных степеней тяжести, человек	11	13	15

В расчётах приняли, что минимальная закупочная стоимость на начало 2022 г. пожарного ствола РСК 50 – 1320 руб. (гарантийный срок – 2 года), РСК 70 – 1500 руб. (гарантийный срок – 2 года), СРП 50Р – 4200 руб. (гарантийный срок – 1,5 года), ОПТ 50 – 10100 руб. (гарантийный срок – 5 лет), РСКУ 50А – 21200 руб. (гарантийный срок – 4 года), РСКУ 70А – 25000 руб. (гарантийный срок – 4 года, в ценах 2024 г. – 34189 руб.), DELTA ATTACK 750 – 28000 руб. (гарантийный срок – 5 лет), DELTA H500 MID-RANGE – 24000 руб. (гарантийный срок – 5 лет).

Полученную по результатам расчётов информацию по определению «относительной общей пользы» применения ПС в СПСЧ г. Иваново привели в табл. 3 и на рис. 2.

Данные табл. 3 и гистограммы на рис. 2 показывают, что наибольшее значение «отно-

сительной общей пользы» от применения имеют ПС марок РСКУ 70А, DELTA H500 и DELTA ATTACK 750 – именно по этим стволам получены большие значения показателя «относительной общей пользы» (W_2) из сравниваемых. Но стоит отметить, что данные ПС показывают не всегда стабильные результаты на практике, особенно в условиях эксплуатации при пониженных температурах внешней среды, а также из-за специфики самих субъектов Российской Федерации, на территории которых расположено то или иное ПСП МЧС России. По результатам расчётов определения «относительной общей пользы» от применения ПС в СПСЧ г. Иваново можно окончательно получить ответ на вопрос: какими же стволами наиболее предпочтительно оснащать СПСЧ г. Иваново (см. табл. 4 и рис. 3).

Таблица 3. Распределение мест на основе расчётов показателя «относительной общей пользы» для пожарных стволов на основе данных по гарантийному сроку службы (W_2) производителей стволов

Показатель	Марки пожарных стволов, применяемых в СПСЧ г. Иваново							
	РСК 50	РСК 70	РСКУ 50А	РСКУ 70А	СРП 50Р	ОПТ 50	DELTA H500 MID-RANGE	DELTA ATTACK 750
$T, ч$	730							
$P(t)$	0,9592		0,9794		0,946	0,983	0,983	
$Q(t)$	0,0408		0,0206		0,054	0,017	0,017	
$R, руб.$	54	61	437	515	227	171	408	476
W_2	0,261	0,296	3,900	4,533	0,803	1,953	4,438	5,113
Место по значению W_2	8	7	4	2	6	5	3	1

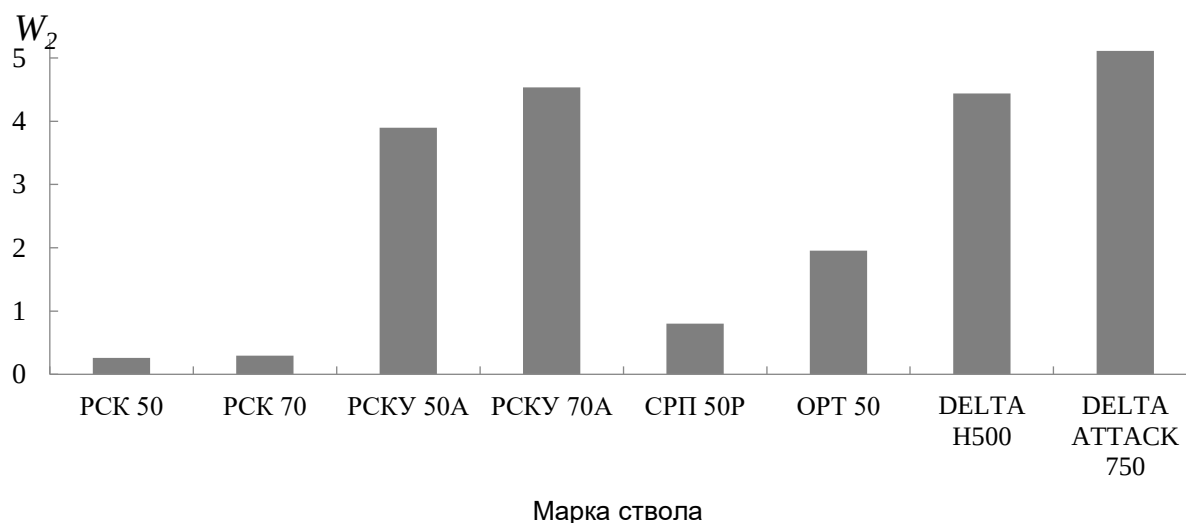


Рис. 2. Оценки величины «относительной общей пользы» пожарных стволов, стоящих на вооружении в СПСЧ г. Иваново (на основе гарантийных обязательств производителей)

Таблица 4. Распределение итоговых мест пожарных стволов по двум подходам определения показателя «относительной общей пользы»

Марка ствола	W_1	W_2	Гарантийный срок службы, лет	Место по величине W_1	Место по величине по W_2	Сумма мест по W_1 и W_2	Итоговое место
DELTA ATTACK 750	2,060	5,113	5	1	1	2	1
РСКУ 70А	2,060	4,533	4	1	2	3	2
DELTA H500	2,060	4,438	5	1	3	4	3
ОРТ 50	2,060	1,963	5	1	5	6	4
РСКУ 50А	2,058	3,900	4	2	4	6	4
РСК 70	2,060	0,296	2	1	7	8	5
СРП 50Р	2,057	0,803	1,5	3	6	9	6
РСК 50	2,051	0,261	2	4	8	12	7

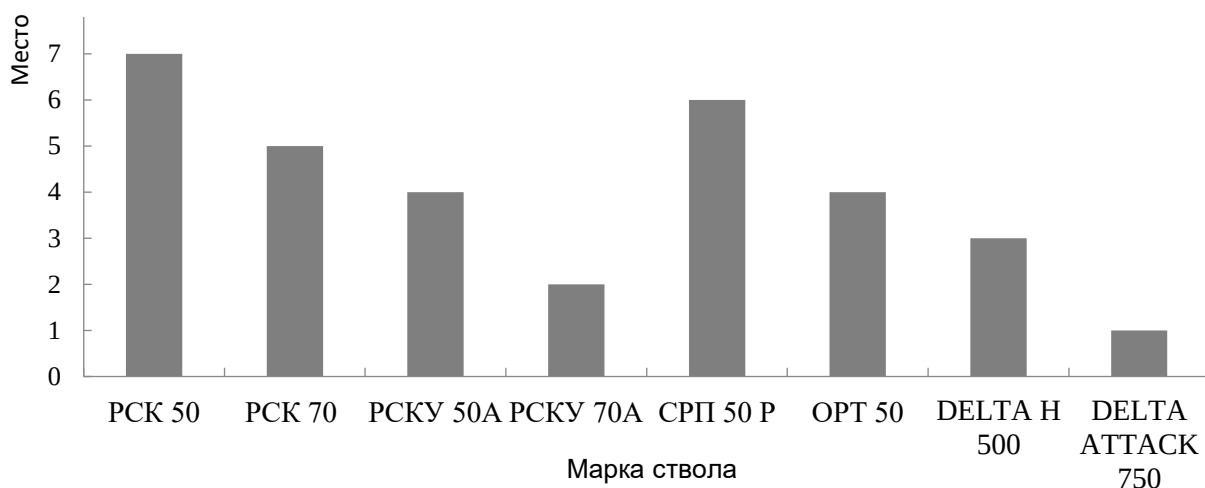


Рис. 3. Места марок пожарных стволов, применяемых в СПСЧ г. Иваново исходя из значений «относительной общей пользы» на основании учёта различных подходов к оценке вероятности отказов

Выводы

После сопоставления значений показателей «относительной общей пользы» для определения наиболее надёжных и эффективных марок ПС, используемых в СПСЧ г. Иваново, мы можем заключить, что для отечественных ПС относительно хороши результаты у марки РСКУ 70А наряду с зарубежными марками DELTA ATTACK 750 и DELTA H500. Причём мы можем говорить об относительно небольшом отличии значений W_1 и W_2 для РСКУ 70А от значений для DELTA ATTACK 750. Отметим, что выпускаемые в настоящее время в России ПС марок КУРС-8 и КУРС-8И (ООО «Научно-производственное предприятие "ОРТ"», г. Воронеж) имеют аналогичные и по некоторым параметрам лучшие тактико-технические характеристики, чем недоступные в настоящее время для закупки ПС марки DELTA.

Таким образом, использованный нами методический подход к оценке «относительной общей пользы» [2]–[3] для ПС и предлагаемые дополнения к нему (расчёт показателей надёжности и W на основе данных о гарантийном сроке эксплуатации от производителя) могут позволить упростить обоснование выбора и совершенствовать техническое оснащение ПСП МЧС России на предэксплуатационном этапе. Следовательно, учитывая эксплуатационные расходы на техническое обслуживание и ремонт ПС, а также показатели их работоспособности, лицу, принимающему решение при определении предпочтительных марок стволов для оснащения ПСП проще выбрать наиболее подходящие ПС, производимые именно в России и для России, с учётом специфики любого субъекта РФ.

Список литературы

1. Полозов А. А., Самохвалов Ю. П. Определение относительных частот использования пожарного оборудования на пожарах // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15. № 4. С. 62–65.

2. Сараев И. В., Бубнов А. Г. Методика обоснования выбора и совершенствования технического оснащения подразделений МЧС России для ликвидации чрезвычайных ситуаций на транспорте // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2017. № 2. С. 15–20.

3. 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.

4. 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.

5. Peculiarities of Firefighting and Technical Equipment Choice for the Elimination of Transport Emergencies / D. I. Sotnikov, A. V. Kalach, A. Y. Zenin [et al.]. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, pp. 166–168. DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947483. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8947483>

6. Малкин В. С. Надёжность технических систем и техногенный риск. Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2010. 432 с.

7. Тимошенко С. П., Симонов Б. М., Горошко В. Н. Надёжность технических систем и техногенный риск. М.: Изд-во «Юрайт», 2017. 502 с.

References

1. Polozov A. A., Samohvalov Yu. P. Opredelenie otnositel'nykh chastot ispol'zovaniya pozhnarogo oborudovaniya na pozharax [Determination of the relative frequencies of use

of fire equipment in fires]. *Pozharovzry'vo-bezopasnost'*, 2006, vol. 15, issue 4, pp. 62–65.

2. Saraev I. V., Bubnov A. G. Metodika obosnovaniya vy'bora i sovershenstvovaniya texnicheskogo osnashheniya podrazdelenij MChS Rossii dlya likvidacii chrezvy'chajny'x situacij na transporte [Methodology for justifying the selection and improvement of technical equipment of units of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the elimination of emergency situations in transport]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby» MChS Rossii*, 2017, issue 2, pp. 15–20.

3. Saraev I. V., Bubnov A. G. Kompleksny'j kriterij dlya vy'bora pozhnarotexnicheskogo oborudovaniya pri osnashhenii podrazdelenij MChS Rossii [A comprehensive criterion for the selection of fire-fighting equipment when equipping units of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Problemy upravleniya riskami v texnosfere*, 2018, vol. 3 (47), pp. 86–93.

4. Saraev I. V., Bubnov A. G. Ranzhирование predpochtitel'nosti vy'bora razlichnogo pozhnarotexnicheskogo oborudovaniya dlya osnashheniya podrazdelenij MChS Rossii na osnove kompleksnogo kriteriya otnositel'noj obshej pol'zy' [Ranking of preferences for choosing various fire-fighting equipment for equipping units of the Ministry of Emergency Situations of Russia based on a complex criterion of relative overall benefit]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby» MChS Rossii*, 2018, issue 3, pp. 9–16.

5. Peculiarities of Firefighting and Technical Equipment Choice for the Elimination of Transport Emergencies / D. I. Sotnikov, A. V. Kalach, A. Y. Zenin [et al.]. Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, pp. 166–168. DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947483. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8947483>

6. Malkin V. S. Nadyozhnost' texnicheskix sistem i texnogenny'j risk [Reliability of technical systems and man-made risk]. Rostov-na-Donu: Izd-vo «Feniks», 2010, 432 p.

7. Timoshenkov S. P., Simonov B. M., Goroshko V. N. Nadezhnost' texnicheskix sistem i texnogenny'j risk [Reliability of technical systems and man-made risk]. Moscow: Izd-vo «Yurajt», 2017. 502 p.

Бубнов Андрей Германович

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

доктор химических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи
и малой механизации учебно-научного комплекса «Пожаротушение»

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, Professor of the Department of Maintenance of Fire
Fighting Equipment, Communications and Small-Scale Mechanization, Educational and Scientific Complex
«Firefighting»

E-mail: bubag@mail.ru

Бочкарёв Артем Николаевич

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

старший преподаватель кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи
и малой механизации учебно-научного комплекса «Пожаротушение»

E-mail: pogarnik1_artem@mail.ru

Bochkaryov Artem Nikolaevich

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

Senior Lecturer of the Department of Maintenance of Fire Fighting Equipment, Communications
and Small-Scale Mechanization, Educational and Scientific Complex «Firefighting»

E-mail: pogarnik1_artem@mail.ru

Волков Виктор Владимирович

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

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры эксплуатации пожарной техники,
средств связи и малой механизации учебно-научного комплекса «Пожаротушение»

E-mail: v-37viktor@mail.ru

Volkov Viktor Vladimirovich

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

candidate of chemical sciences, Senior Lecturer of the Department of Maintenance
of Fire Fighting Equipment, Communications and Small-Scale Mechanization,
Educational and Scientific Complex «Firefighting»

E-mail: v-37viktor@mail.ru

УДК 614.842.42

АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

О. В. КОЧНОВ¹, А. Л. НИКИФОРОВ², К. А. НОВОЖИЛОВА²

¹ Группа компаний «ESCORT», Российская Федерация, г. Москва

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

E-mail: ok@escortpro.ru, anikiforoff@list.ru, novozhilovax@yandex.ru

В статье указаны основные подходы к определению эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ). Необходимость в оценке эффективности и работоспособности СОУЭ обусловлена нормативными требованиями по пожарной безопасности, а также фактической необходимостью. Оценка эффективности позволяет на стадии проектирования выбрать оптимальное решение по соотношению надежность/цена, оценить основные технико-эксплуатационные параметры системы. Решение данной задачи позволит при надежной гарантии определить затраты на проектирование и на эксплуатацию и наоборот, при установленном бюджете обеспечить максимальную надежность системы.

Ключевые слова: Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, работоспособность СОУЭ; экономическая эффективность СОУЭ, надежность систем оповещения, оценка эффективности системы на этапе эксплуатации.

ASPECTS OF DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF WARNING AND EVACUATION MANAGEMENT SYSTEMS IN CASE OF FIRE

O. V. KOCHNOV¹, A. L. NIKIFOROV², K. A. NOVOZHILOVA²

¹ Group of companies «ESCORT», Russian Federation, Moscow

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

E-mail: ok@escortpro.ru, anikiforoff@list.ru, novozhilovax@yandex.ru

The article outlines the main approaches to determining the effectiveness of fire warning and evacuation management systems (FWEMS). The need to assess the effectiveness and operability of the FWEMS is due to regulatory requirements for fire safety, as well as the actual need. Efficiency assessment allows choosing the most optimal solution in terms of reliability / price ratio at the design stage, and evaluating the main technical and operational parameters of the system. Solving this problem will allow, with a certain guarantee, to determine the costs of design and operation, and vice versa, with a certain budget, to ensure maximum reliability of the system.

Key words: Warning and evacuation management system in case of fire; efficiency of FWEMS; economic efficiency of FWEMS; reliability of warning systems; evaluation of the effectiveness of the system at the operational stage.

Обращение к вопросу эффективности системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) не случайно. Система оповещения СОУЭ, как комплекс организационных мероприятий и технических средств, обеспечивает оповещение людей о пожаре, их беспрепятственную эвакуацию¹; от

эффективности ее функционирования могут зависеть чьи-то жизни. Согласно требованиям технического регламента по пожарной безопасности², одним из способов обеспечения безопасности людей, находящихся в зданиях и сооружениях, является их безопасная эвакуация. Данное требование обеспечивается вы-

© Кочнов О. В., Никифоров А. Л., Новожилова К. А., 2024

¹ Федеральный закон от 22.07.2007 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

² ГОСТ Р 59639-2021. Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность.

полнением ряда мероприятий — применением средств пассивной противопожарной защиты, активными системами противопожарной защиты (СПЗ) и организационно-техническими мероприятиями. К активным средствам противопожарной защиты относятся системы пожаротушения, системы дымоудаления, СОУЭ. Для выполнения своей задачи СПЗ и СОУЭ должны обладать надежностью, устойчивостью и электромагнитной совместимостью с другими системами. Согласно требованиям стандарта³, СОУЭ должна обеспечивать свою работоспособность и эффективность на всем этапе жизненного цикла.

В качестве тезиса отметим, что более дорогая система не значит более надежная, более надежная система не значит более эффективная. Под эффективностью технических средств понимается способность средства выполнить свою задачу. Так, например, эффективность применения СПА на объектах защиты обусловлена сокращением материального ущерба от пожара или достижением требуемого уровня защиты людей при возникновении пожара. Эффективность СОУЭ, являющейся частью СПА, определяется оптимальным соотношением таких основных свойств, как достоверность и своевременность передаваемой информации, надежность и стоимость системы. Для СОУЭ данные параметры взаимосвязаны, изменение одного приводит к изменению остальных, поэтому основной задачей оптимизации является поиск наилучшего соотношения указанных параметров, при которых выполняется основная задача СОУЭ — обеспечение безопасной эвакуации людей [1].

В научных исследованиях принято рассматривать следующие виды эффективности — экономическую, техническую, функциональную [2]. Под экономической эффективностью принято понимать эффект (выигрыш) от применения системы, по сравнению с ее отсутствием. Такая интерпретация, имеет широкое применение, позволяя управлять соотношением между затратами и ущербом. Экономическая эффективность ТС, как правило, определяется из соотношения надежности и общей стоимости системы, включая средства, затраченные на ее проектирование, монтаж и эксплуатацию. Согласно [3], задача оценки эффективности сводится к нахождению для конкретного объекта таких соотношений, при которых общие потери C_p , определяемые расчетом величины индивидуального пожарного риска, были бы минимальны. В общем виде,

экономическая эффективность системы определяется сравнением двух подходов — наиболее эффективного с дополнительными затратами и минимально-необходимого, обусловленного нормативными требованиями по пожарной безопасности. При этом, полученная разница сравнивается с потенциально возможными убытками от применения или неприменения того или иного подхода. Средние потери (убытки) от пожара можно определить по формуле:

$$C_{\Pi} = \{(Y_{\Pi} - C_{\Pi}) \cdot K_{\Gamma} + C_{\Pi}\} \cdot Q_{\Pi}, \quad (1)$$

где Y_{Π} — ущерб от пожара на объекте без ТС; C_{Π} — ущерб от пожара при наличии ТС на объекте; K_{Γ} — коэффициент готовности ТС; Q_{Π} — интенсивность потока пожаров на объекте.

Ущерб от пожара может быть снижен применением систем противопожарной защиты (СПЗ), СОУЭ повышенного типа. Надежность каждой из подсистем подтверждается коэффициентом соответствия системы требованиям нормативной документации⁴. Коэффициент соответствия СПЗ в общей сложности определяется эффективностью срабатывания, по сути надежностью каждой из подсистем. Ущерб от пожара определяется расчетным или статистическим способом с учетом косвенного ущерба. Расчет показателей надежности позволяет определить, какой состав оборудования может быть применен (оптимален) для данного объекта защиты. Приведем пример. Согласно методике⁵, условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара:

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) \cdot (1 - D_{ij}),$$

где $P_{эij}$ — вероятность эвакуации людей, находящихся в i -ом помещении здания, при реализации j -го сценария пожара; D_{ij} — вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.

³ СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

⁴ Приказ от 14.11.22 № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

⁵ Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями и дополнениями)».

Из формулы видно, что при наличии технических средств с вероятностью эффективной работы $D_{ij}=0,8$ (80 %), вероятность поражения (величина риска) снижается в 5 раз по сравнению с их отсутствием.

При оценке эффективности системы ведущими являются показатели надежности. При этом следует учитывать, что высокая надежность, необходимая для гарантированного выполнения системой своей задачи, не является залогом длительности эксплуатации и наоборот. Следует учитывать, что повышение качества системы предполагает повышение затрат. Выбор оптимального соотношения между качеством и затратами может быть обоснован математически [4]. Суммарные затраты, связанные с обеспечением надежности СОУЭ можно представить:

$$C(P) = C_{TC}(P) + C_3(P), \quad (2)$$

где $C_{TC}(P)$ — стоимость (ТС) системы, определяемая ее надежностью (функция от надежности, P); $C_3(P)$ — расходы на обслуживание системы в период эксплуатации.

С повышением надежности системы повышается ее стоимость, при этом затраты на эксплуатацию могут снизиться. Оптимальное значение надежности можно найти, дифференцируя уравнение (2) относительно P : $\frac{dC(P)}{dP} = 0$. Все современные СПЗ, в том числе СОУЭ, относятся к радиоэлектронным средствам, отказы которых подчиняются экспоненциальному распределению (95 %) [5]. В этом случае стоимость радиоэлектронной системы связывается с ее надежностью следующим соотношением [6]:

$$C_{TC}(P) = C_0(1 - P)^{-\alpha}, \quad (3)$$

где C_0 — коэффициент в виде стоимости системы данного класса; α — показатель класса системы (принимает значение от 0,1 до 0,3).

Расходы на этапе эксплуатации определяются:

$$C_3(P) = \Delta C_1(P) + \Delta C_2, \quad (4)$$

где $\Delta C_1(P)$ — стоимость эксплуатации, связанная с убытками от отказов системы (ремонт, восстановление); ΔC_2 — стоимость эксплуатации, не связанная с отказами системы и не зависящая от надежности, т.е. $\Delta C_2 = const$.

Следует подчеркнуть, что при оценке стоимости отказа, необходимо учитывать не только стоимость восстановления, но и простоя. Зная убыток от одного отказа C_1 и их количество, m : $\Delta C_1(P) = mC_1$ и принимая за осно-

ву экспоненциальный закон распределения отказов:

$$P = EXP(-m \cdot \frac{t}{T_{CP}}), \quad (5)$$

где t — срок службы СОУЭ; T_{CP} — наработка на отказ; m — среднее число отказов за время t .

Логарифмируя (5), получим:

$$m = (-\frac{T_{CP}}{t} \ln P),$$

Убыток на один отказ: $\Delta C_1(P) = -\frac{C_1 T_{CP}}{t} \ln P$. Подставляя в (2):

$$C(P) = C_0(1 - P)^{-\alpha} - \frac{C_1 T_{CP}}{t} \ln P + C_3(P), \quad (6)$$

Оптимальное значение надежности системы можно найти, решая следующее уравнение: $\frac{dC(P)}{dP} = 0$. Дифференцируя (6):

$$\frac{C_0 \alpha}{(1 - P)^{\alpha+1}} - \frac{C_1 T_{CP}}{tP} = 0. \quad (7)$$

Данное уравнение может быть решено графически, для чего необходимо найти α . При заданных T_{CP} , C_0 , C_1 , t можно построить параметрическое семейство кривых $f(P)$ с различными значениями α . Наибольшую сложность представляет нахождение C_0 и α . Методика их определения для СОУЭ может быть следующей:

1) Производится оценка стоимости СОУЭ при двух значениях показателя надежности P_1 , со стоимостью C_{A1} (эти величины д.б. известны) и P_2 со стоимостью C_{A2} .

2) Подставляя эти значения поочередно в (7), решая относительно C_0 , затем логарифмируя получим:

$$\alpha = -\frac{\ln C_{A1}/C_{A2}}{\ln(\frac{1-P_1}{1-P_2})}. \quad (8)$$

Построим семейство показателей α класса системы в зависимости от надежности сравниваемой системы, P_2 с нормативным значением⁶, $P_1=0,95$, для практических стоимостных соотношений C_{A1}/C_{A2} , получим, рис. 1.

⁶ РНД 73-16-90 «Методика по расчету показателей надежности системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией при пожаре», ГПКИ «Спецавтоматика», г. Новосибирск, дата введения 01.09.90 (действующий документ).

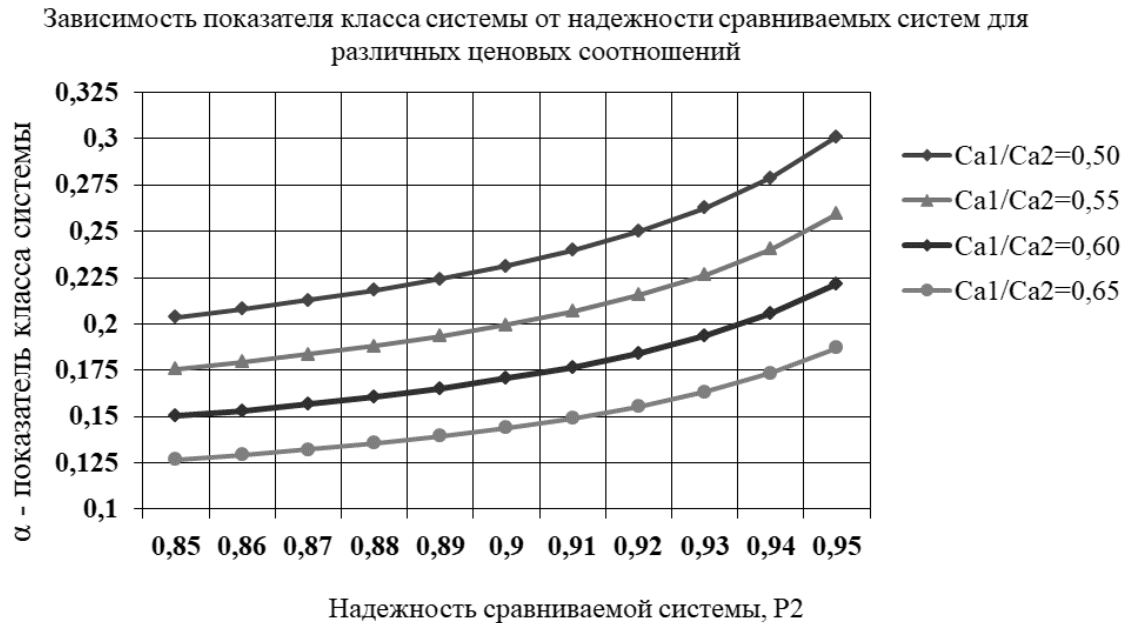


Рис. 1. Зависимость показателя класса степени α от надежности СОУЭ при различных соотношениях стоимостей систем.

Оптимальное значение показателя надежности можно найти из формулы (8). Решение может быть найдено приближенным методом не относительно P , а относительно $Q=1-P$. Преобразуя и раскладывая показательную функцию в ряд, затем отбрасывая члены разложения больше второго порядка получим:

$$Q = \frac{\beta}{1 + \frac{\beta}{(1+\alpha)}}, \quad (9)$$

$$\text{где } \beta = \left(\frac{C_0 t \alpha}{C_1 T_{CP}} \right)^{1/(1+\alpha)} \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9) и учитывая $P=1-Q$, запишем выражение для нахождения оптимального значения показателя надежности:

$$P_{\text{опт}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{C_1 T_{CP}}{C_0 t \alpha} \right)^{1/(1+\alpha)} + \frac{1}{(1+\alpha)}}, \quad (11)$$

где C_0 — базовая стоимость системы данного класса; C_1 — убыток от одного отказа; t — срок службы (~10 лет); T_{CP} — средняя наработка на отказ.

Формула (12) справедлива при условии постоянства срока службы при выполнении следующего условия:

Оптимизацию требуемого уровня эффективности СОУЭ можно провести по комплексному показателю, характеризующему убытки. Если обозначить $W = \frac{C_0}{C_1}$, можно вычис-

лить оптимальную надежность: $\frac{dW(P)}{dP} = 0$. Так как получение общего решения достаточно трудоемко, то его можно предоставить машине. Мы же ограничимся построением параметрического семейства при заданных соотношениях убытков от одного отказа к стоимости системы, рис. 2.

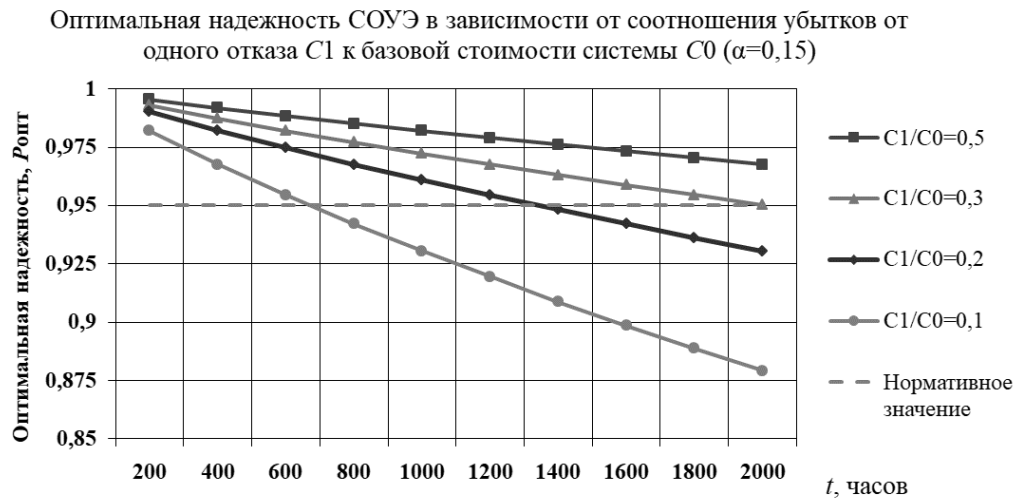


Рис. 2. Оптимальная надежность СОУЭ для различных соотношений убытков от одного отказа $C1$ к базовой стоимости системы $C0$ при $\alpha=0,15$ и средней наработке на отказ $T_{CP}=30000$ часов.

Заключение

1. Одной из наиболее трудных задач представляется оценка убытков от одного отказа. При этом, если оценка убытков все-таки возможна, то соотношение надежности к стоимости может быть выбрано следующим образом. При сопоставлении убытков от одного отказа со стоимостью системы за время работы 2000 часов (это нормативное значение совпадает со средним периодом проверки работоспособности) не допустить снижения надежности ниже, чем 95 %.

2. Еще раз отметим, что представленные результаты получены при сохранении постоянства эффективности и надежности СОУЭ на

периоде эксплуатации, при условии, что сравниваемые системы относятся к одинаковому классу и сопоставимы по решаемым задачам — функционалу и области применения. Полученные результаты позволяют удобно и быстро сравнить различные системы, отличающиеся по стоимости, оценить эффективность предлагаемого или выбираемого решения. Данная методика может использоваться как на стадии проектирования при выборе оптимального решения, так и на стадии эксплуатации при определении оптимальной периодичности обслуживания системы, формировании бюджета.

Список литературы

1. Кочнов О. В., Никифоров А. Л. Основные подходы к построению обобщенной оценки эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, 23 ноября 2023 г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. 1204 с.
2. Арутюнян Д. М. Новые технологии гарантированного предотвращения пожаров. Монография. М.: Специнформатика-СИ, 2014. 232 с.
3. Бубырь Н. Ф., Бабуров В. П., Потопов В. А. Производственная и пожарная автоматика. Часть II. Пожарная автоматика. М.: ВИПТШ, 1986. 296 с.
4. Шаровар Ф. И. Пожаропредупредительная автоматика. М.: СПЕЦИНФОРМАТИКА-СИ, 2013 г. 556 с.

5. Боровиков С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. Мн.: Дизайн ПРО, 1998. 336 с.

6. Острейковский В. А. Теория надежности: учебник для вузов. М: Высшая школа, 2003. 463 с.

References

1. Kochnov O. V., Nikiforov A. L. Osnovnye podkhody k postroeniiu obobshchennoi otsenki effektivnosti sistem opoveshcheniia i upravleniia evakuatsiei liudei pri pozhare [The main approaches to the construction of a generalized assessment of the effectiveness of warning systems and evacuation management in case of fire] // Pozharnaia i avariinaia bezopasnost sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. November 23, 2023. Ivanovo: Ivanovskaia pozharno-spasatelnaia akademiia GPS MCHS Rossii, 2023. 1204 p.

2. Arutyunyan D. M. *Novye tekhnologii garantirovannogo predotvrashcheniia pozharov. Monografiia* [New technologies for guaranteed fire prevention. Monograph]. Moscow: Spetsinformatika-SI, 2014. 232 p.

3. Bubyр N. F., Baburov V. P., Potapov V. A. *Proizvodstvennaia i pozhar-naia avtomatika, chast II, Pozhar-naia avtomatika* [Industrial and fire automation. Part II. Fire automation.]. Moscow: VIPTSH, 1986. 296 p.

4. Sharovar F. I. *Pozharopredupreditelnaia avtomatika* [Fire safety automation], Moscow: SPECIFORMATIKA-SI, 2013. 556 p.

5. Borovikov S. M. *Teoreticheskie osnovy konstruirovaniia tekhnologii i nadezhnosti* [Theoretical foundations of design, technology and reliability]. Mn.: Design PRO, 1998. 336 p.

6. Ostreikovskiy V. A. *Teoriia nadezhnosti: uchebnyk dlya vuzov* [Theory of reliability: textbook for universities]. Moscow: Vysshaia shkola, 2003. 463 p.

Кочнов Олег Владимирович

Группа компаний «Эсорт»,

Российская Федерация, г. Москва

Заместитель генерального директора по научно-производственной работе

E-mail: ok@escortpro.ru

Kochnov Oleg Vladimirovich

Escort Group of Companies,

Moscow, Russian Federation

Deputy General Director for Scientific and Production Work

E-mail: ok@escortpro.ru

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: anikiforoff@list.ru

Новожилова Ксения Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Старший преподаватель

E-mail: novozhilovax@yandex.ru

Novozhilova Kseniia 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

Senior teacher

E-mail: novozhilovax@yandex.ru

УДК 614.842.42

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗНАЧИМОСТИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СОУЭ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА

О. В. КОЧНОВ¹, А. Л. НИКИФОРОВ², К. А. НОВОЖИЛОВА²

¹ Группа компаний «ESCORT», Российская Федерация, г. Москва

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

E-mail: ok@escortpro.ru, anikiforoff@list.ru, novozhilovax@yandex.ru

Обращение к вопросу оценки эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре СОУЭ обусловлено требованиями нормативной документации по пожарной безопасности. Работоспособность и эффективность СОУЭ может быть обеспечена грамотным проектированием, качественным монтажом и надлежащей эксплуатацией. Одним из способов оценки эффективности технических средств является экспертный опрос, результаты которого изложены в данной статье.

Ключевые слова: Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; эффективность СОУЭ; оценка обобщенной эффективности; коэффициенты важности; этапы жизненного цикла.

ASSESSMENT OF THE COEFFICIENTS OF THE SIGNIFICANCE OF THE STAGES OF THE LIFE CYCLE OF THE FWEMS BASED ON THE RESULTS OF AN EXPERT SURVEY

O. V. KOCHNOV¹, A. L. NIKIFOROV², K. A. NOVOZHILOVA²

¹ Group of companies «ESCORT», Russian Federation, Moscow

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

E-mail: ok@escortpro.ru, anikiforoff@list.ru, novozhilovax@yandex.ru

The appeal to the issue of evaluating the effectiveness of warning systems and evacuation management in case of a fire is conditioned by the requirements of regulatory documentation on fire safety. The efficiency and effectiveness of the FWEMS can be ensured by competent design, high-quality installation and proper operation. One of the ways to assess the effectiveness of technical means is an expert survey, the results of one of which are presented in this article.

Key words: fire alarm and evacuation management system; efficiency of FWEMS; assessment of generalized efficiency; importance coefficients; life cycle stages.

Пристальный вопрос к оценке эффективности СОУЭ не случаен. В официальных статистических данных за период 2013–2021 гг.¹ приведена статистика работоспособности систем противопожарной защиты — автоматических установок пожаротушения, автоматических систем пожарной сигнализации, систем дымоудаления, систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Согласно предоставленным данным, в некоторых случа-

ях работоспособная подсистема своей задачи не выполнила, то есть оказалась неэффективной. По этой причине стандарт по проектированию, монтажу и эксплуатации СОУЭ ГОСТ Р 59539-2021² обращает пристальное внимание на необходимость обеспечения не только работоспособности, но и эффективности СОУЭ на всем периоде ее эксплуатации.

В работе [1] был предложен подход к построению оценки коэффициента обобщен-

© Кочнов О. В., Никифоров А. Л., Новожилова К. А., 2024

¹ Министерство РФ по делам ГО и ЧС, ФГБУ ВНИИ-ПО МЧС России «Пожары и пожарная безопасность». Статистика пожаров и их последствия, статистические сборники за 2013–2022 гг.

² ГОСТ Р 59639-2021 Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность.

ной эффективности, учитывающей снижение работоспособности на каждом из этапов производственного цикла. Неравнозначность каждого из этапов может быть обусловлена коэффициентами значимости или важности каждого из этапов (далее весовыми коэффициентами). Для определения весовых коэффициентов, используемых при построении оценки обобщенной эффективности СОУЭ, обратимся к методу экспертного опроса [3–5].

Необходимость в привлечении экспертов базируется на двух постулатах – нехватка статистических данных и мнение о том, что специалисты в данной области имеют достаточную квалификацию для решения проблемы [2]. В этой связи требования к отбору состава экспертной группы были достаточно высоки. В рабочую группу вошли специалисты в данной области, обладающие компетентностью, эрудицией, осведомленностью. Следует заметить, что объективная оценка квалификации эксперта труднореализуема, поэтому обратимся к субъективному способу, построенному по принципу «самооценка, взаимооценка, оценка». Самооценку проведем посредством анкетирования. Взаимооценку проведем в виде корреляции при повторной проверке. Самооценка корректируется документами о квалификации. Результат опроса корректируется на основании квалификационных таблиц и дальнейшего усреднения. Для оценки значимости каждого из параметров была разработана анкета, касающаяся ключевых моментов исследования. Ответы предложено давать по достаточно привычной 10-ти балльной шкале. Для получения объективной оценки было выбрано оптимальное количество участников — от 12

до 20 человек. Для минимизации субъективности количество было относительно небольшим.

Процедура определения весовых коэффициентов на основании экспертного опроса делится на три стадии:

1) Составляется таблица экспертного опроса. В таблицу вносятся характеристики и параметры исследуемой системы, по которым необходимо выяснить мнение специалистов. Каждому специалисту предлагается оценить важность исследуемой характеристики в баллах (от 1 до 100), а также указать свою квалификацию.

2) Проводится сам экспертный опрос.

3) Обработка данных: вычисляются средние оценки и устанавливается степень согласованности мнений экспертов.

Комплексный (обобщенный) показатель компетентности i -го эксперта, $K_{кэi}$, построим как среднеарифметическое трех оценок:

$$K_{кэi} = (K_{ки} + K_{Ai} + K_{иi})/3, \quad (1)$$

где K_k , K_A , K_3 — коэффициенты квалификации, аргументации, интуиции (объема научных знаний).

Уровень компетентности определяется на основе опроса, т.е. субъективно. Для минимизации субъективности и произвола разработаны квалификационные таблицы, корректирующие ответ. Приблизительные коэффициенты уровня квалификации в зависимости от занимаемой должности и научной степени приведены в табл. 1.

Таблица 1. Примерный уровень квалификации экспертов

№	Должность	Значение коэффициента квалификации, K_k		
		Без степени	Кандидат наук	Доктор наук
1	Инженер (специалист). Младший научный сотрудник.	0,10	0,15	-
2	Ведущий инженер (ведущий специалист). Старший научный сотрудник.	0,15	0,30	0,45
3	Начальник сектора (заведующий лабораторией). Руководитель группы. Доцент.	0,25	0,40	0,55
4	Начальник отдела (лаборатории). Зав. кафедрой. Руководитель подразделения.	0,35	0,55	0,75
5	Начальник комплекса (института). Профессор. Руководитель организации. Эксперт.	0,45	0,65	0,85
6	Научный руководитель данного направления.	0,50	0,80	1,0

Данная таблица построена по принципу линейно возрастающей (от 0,1 до 1) квалификации, с учетом научной степени в соотношении — 0,5/0,8/1. Критерий оценки по данной таблице достаточно строгий, — стопроцентной квалификацией наделен лишь руководитель

данного направления, имеющий, кроме того, самую высокую научную степень. Степень осведомленности подтверждается аргументированностью. Приблизительные степени оценки аргументации приведены в табл. 2.

Таблица 2. Обобщенная оценка аргументации мнения эксперта

№	Должность	Оценка мнения эксперта (коэффициент аргументации, K_A)		
		Низкий	Средний	Высокий
1	Производственный опыт	0,025	0,04	0,05
2	Опыт эксплуатации обслуживания	0,025	0,04	0,05
3	Опыт проектирования	0,075	0,12	0,15
4	Проведенный теоретический анализ	0,100	0,16	0,20
5	Учет тенденций, выявленных на последних конференциях	0,125	0,20	0,25
6	Обобщение работ зарубежных авторов	0,150	0,24	0,30
	Сумма	0,50	0,80	1,00

Самооценку уровня (собственной) интуиции и квалификации, K_i , предлагается оценить по 3-х бальной шкале: низкая – 0,5; средняя – 0,8; высокая – 1. По каждой строке выбирается вариант ответа. Подсчет суммарного коэффициента аргументации осуществляется суммированием соответствующих коэффициентов.

Опросный лист:

В опросе приняли участие 16 специалистов в области проектирования и обслуживания СОУЭ. В опроснике предлагалось оценить значимость этапов жизненного цикла СОУЭ и дополнительных параметров, оценив их по 10-ти балльной шкале. Список включал 20 вопросов специального и общетехнического характера: 1. Важность этапа проектирования. 2. Важность этапа монтажа и пусконаладки. 3. Важность этапа эксплуатации. 4. Важность этапа управления. 5. Важность учета нормативных требований. 6. Важность и необходимость расчетных мероприятий. 7. Важность качества звукового тракта. 8. Важность обеспечения помехоустойчивости. 9. Важность масса-габаритных показателей оборудования. 10. Важность обеспечения надежности систе-

мы. 11. Важность многофункциональности (ГОЧС, мультимедиа) системы. 12. Важность перспективности системы. 13. Важность унификации системы. 14. Важность гибкости системы. 15. Важность эргономики приборов управления. 16. Важность организационных мероприятий. 17. Важность информационных параметров СОУЭ. 18. Важность технико-экономических параметров СОУЭ. 19. Важность технико-эксплуатационных параметров СОУЭ. 20. Важность конструктивно-технологических параметров СОУЭ.

На первый взгляд данные вопросы кажутся слишком простыми и общими, однако, мнение экспертов относительно их важности разошлись, поэтому все вопросы пришлось условно разделить на 3 группы — основные (с 1 по 6), специальные (с 7 по 16) и дополнительные (с 17 по 20). Основные — это прямые вопросы о важности этапов жизненного цикла СОУЭ, являющиеся целью исследования (целевой группой). Дополнительные и специальные вопросы подготовлены для повышения объективности ответов. Для корреляции групп была предложена следующая матрица связности — табл. 3.

Таблица 3. Взаимосвязь экспертных оценок с группами параметров

№ вопроса	Целевая группа параметров				Дополнительная группа			
	ω1	ω2	ω3	ω4	17	18	19	20
1	1				1			
2		1				1		
3			1				1	
4				1				1
5	1				1			
6	1				1			
7	1				1	1		
8	1				1	1		
9		1				1		
10			1			1	1	
11				1		1		1
12			1	1		1	1	1
13		1		1		1		1
14				1		1		1
15				1				1

Примечание: Важность организационных мероприятий оценена всеми одинаково высоко (10 баллов), в данной матрице не представлена, но при необходимости, может быть легко в нее включена.

Данная матрица построена на основе эвристических соображений. Например, важность этапа проектирования усреднена по трем ответам, так эксперты по-разному оценивают значимость нормативных требований и расчетных мероприятий. На первую группу вопросов уверенней отвечают специалисты, связанные с нормированием (инженеры-проектировщики), на вторую — практики-производители, эксплуатационщики. Еще один пример. Эксперт поставил низкую оценку необходимости этапа эксплуатации, при этом, указав на высокую значимость технико-эксплуатационных параметров. Чтобы повысить объективность и сохранить мнение эксперта, предложено обычное усреднение. Разбив вопросы на группы, мы попытались минимизировать вероятность ошибки. Для повышения объективности была введена дополнительная

группа специальных вопросов, цель которых — наполнить основную группу конкретикой и привлечь внимание специалистов к дополнительному исследованию.

Для построения коэффициентов значимости исследуемой целевой группы применена следующая формула:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{15} (k_{ki} \cdot c_{ki} + (\sum_{j=17}^{20} k_{ij} \cdot c_{ij}))}{\sum_{i=1}^N (k_{ki}) + k_{ki} \cdot \sum_{j=1}^4 k_{ji}}, \quad (2)$$

где k — номер исследуемой группы (от 1 до 4); i — номер вопроса; j — в k - $k_{k/ij}$ — коэффициенты, принимающие два значения 0 или 1 согласно таблице 3; $c_{k/ij}$ — оценка значимости оцениваемого параметра.

Результаты применения формулы приведены в табл. 4.

Таблица 4. Расчетная оценка значимости технико-эксплуатационных параметров функционирования СОУЭ

№ эксперта	Оценки значимости группы параметров			
	C1	C2	C3	C4
1	8,8	6,9	6,3	5,6
2	8,8	5,7	6,4	5,7
3	9,5	9,4	8,3	8,7
4	8,8	7,0	7,0	6,4
5	7,9	7,1	8,0	7,4
6	8,0	6,4	7,4	6,9
7	8,8	8,0	7,3	7,7
8	9,2	7,9	7,9	7,9
9	8,1	5,4	5,5	4,7
10	9,8	8,9	8,4	8,3
11	9,6	9,1	8,9	9,2
12	8,1	7,4	6,8	6,6
13	6,2	4,9	6,0	4,7
14	8,6	8,3	7,9	8,0
15	7,8	7,6	7,0	6,4
16	8,4	7,9	8,0	7,6

На завершающей третьей стадии экспертного опроса проводится обработка данных — вычисление средних оценок и установление степени согласованности мнений экспертов. Обработку результатов выполним на основе теории ранговой корреляции [6]:

1) Произведем нормирование оценок табл. 4 по формуле:

$$\beta_{kn} = C_{kn} / \sum_{n=1}^N C_{kn}, \quad (3)$$

где C_{kn} — оценка n -го параметра данная k -м экспертом. N число экспертов (параметров).

2) Вычислим среднее значение оценок для каждого параметра по формуле:

$$\bar{\beta}_n = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^N \beta_{kn}.$$

3) Вычислим среднеквадратические отклонения весовых коэффициентов:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^N (\beta_{kn} - \bar{\beta}_n)^2}.$$

4) Вычислим коэффициенты вариации (степень согласованности мнений):

$$v_n = \sigma_n / \bar{\beta}_n,$$

Полученные результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты расчетов степени согласованности мнений экспертов

Группы параметров	Расчетные параметры			
	Кэфф. важности, β_i	Ср. кв. откл., σ_i	Кэфф. вариации, v_i	Степень соглас-ти
1. Важность этапа проектирования	0,284	0,025	0,087	91,3
2. Важность этапа монтажа	0,243	0,014	0,057	94,3
3. Важность этапа эксплуатации	0,243	0,013	0,052	94,8
4. Важность этапа управления	0,230	0,015	0,067	93,3

Из табл. 5 следует, что согласованность мнений по каждой группе достаточно высока. Наибольшая согласованность мнений экспертов наблюдается по третьей (техно-эксплуатационной) группе параметров, что вполне закономерно, по причине наибольшей длительности этапа эксплуатации.

Чтобы исключить случайность согласованности мнений экспертов, вводится количественная оценка (случайности) в виде коэффициента конкордации или степени общей согласованности мнений экспертов по всем параметрам. Этот коэффициент находится по

таблицам на основании сопоставления числа степеней свободы (в нашем случае 3) с величиной χ^2 (по критерию Пирсона). Если найденный по данному распределению уровень значимости мал (меньше 0,3), то согласованность мнений экспертов считается случайной, при значении $>0,7$ совпадение мнений неслучайно. Результат вычислений составил, $\omega=0,8025$ (80 %) с уровнем значимости или доверия 85 %. Таким образом, полученные коэффициенты (рисунок) могут с высокой степенью доверия использоваться на практике:



Рисунок. Важность этапов жизненного цикла СОУЭ.

Заключение

Полученные данные, обеспечивающие актуальные нормативные требования, могут иметь ряд практических применений. С помощью коэффициентов важности этапов жизненного цикла СОУЭ можно получить вполне объективную оценку коэффициента обобщенной эффективности, позволяющую отыскать оптимальное решение, сравнивать различные системы как по внутренним параметрам, так и внешним функциям (качествам), принимать

объективные решения на стадии проектирования, оценивать возможные потери на стадии эксплуатации. Уровень разработки и качества системы может оцениваться не только по отношению к отечественным, но и зарубежным образцам. Полученные коэффициенты важности можно использовать при оценке экономической эффективности, планировании бюджета, целесообразности создания новой системы и т.д.

Список литературы

1. Кочнов О. В., Никифоров А. Л. Основные подходы к построению обобщенной оценки эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре / Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. 1204 с.

2. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 томах. Том 3: Эффективность технических систем / [В. У. Торбин и др.]. 1988. 328 с.

3. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании / Г. М. Добров, Ю. В. Ершов, Е. И. Левин [и др.]. Киев: Наук. думка, 1974. 160 с.

4. Окунев Ю. Б., Плотников В. Г. Системы связи. Принципы системного подхода к

проектированию в технике связи, М.: Издательство "Связь", 1976 г. 184 с.

5. Семенов С. С. Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения метода экспертных оценок. М.: ЛЕНАНД, 2019. 352 с.

6. Трухан А. А., Кудряшев Г. С. Теория вероятности в инженерных приложениях: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. СПб: Издательство «Лань», 2015. 368 с.

References

1. Kochnov O. V., Nikiforov A. L. Osnovnye podkhody k postroeniiu obobshchennoi otsenki effektivnosti sistem opoveshcheniia i upravleniia evakuatsiei liudei pri pozhare [The main approaches to the construction of a generalized assessment of the effectiveness of warning systems and evacuation management in case of fire]. *Pozharnaia i avariinaia bezopasnost sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. 2023. Ivanovo: Ivanovskaia pozharno-spatatelnaia akademiia GPS MCHS Rossii, 2023. 1204 p.

2. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik*. V 10 tomakh. Tom 3: Effektivnost' tekhnicheskikh sistem [Reliability and efficiency in

technology: A reference book. In 10 volumes. Volume 3: Efficiency of technical systems] / V. U. Torbin [et al.]. 1988. 328 p.

3. *Ekspertnye ocenki v nauchno-tekhnicheskoi prognozirovanii* [Expert assessments in scientific and technical forecasting] / G. M. Dobrov, Yu. V. Yershov, E. I. Levin [et al.]. Kiev: Nauk. dumka, 1974. 160 p.

4. Okunev Yu. B., Plotnikov V. G. *Sistemy svyazi. Principy sistemnogo podhoda k proektirovaniyu v tekhnike svyazi* [Communication systems. Principles of a systematic approach to design in communication technology]. Moscow: izdatel'stvo "Svyaz", 1976. 184 p.

5. Semenov S. S. *Otsenka kachestva i tekhnicheskogo urovnya slozhnykh sistem. Praktika primeneniya metoda ekspertnykh otsenok* [Assessment of the quality and technical level of complex systems. The practice of applying the method of expert assessments]. Moscow: LENAND, 2019. 352 p.

6. Trukhan A. A., Kudryashev G. S. *Teoriya veroyatnosti v inzhenernykh prilozheniyah: uchebnoe posobie uchebnoye posobiye*. 4-ye izd., pererab. i dop. [Probability theory in engineering applications: tutorial. 4th ed., revised. and additional]. SPb: Izdatel'stvo «Lan'», 2015. 368 p.

Кочнов Олег Владимирович

Группа компаний «Эскаорт»,

Российская Федерация, г. Москва

Заместитель генерального директора по научно-производственной работе

E-mail: ok@escortpro.ru

Kochnov Oleg Vladimirovich

Escort Group of Companies,

Moscow, Russian Federation

Deputy General Director for Scientific and Production Work

E-mail: ok@escortpro.ru

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: anikiforoff@list.ru

Новожилова Ксения Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Старший преподаватель

E-mail: novozhilovax@yandex.ru

Novozhilova Kseniia 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

Senior teacher

E-mail: novozhilovax@yandex.ru

УДК 621.8

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ НЕОБХОДИМЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЕЕ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

И. А. ЛЕГКОВА, В. П. ЗАРУБИН, В. Е. ИВАНОВ, А. А. ПОКРОВСКИЙ

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

E-mail: legkovai@mail.ru, docent432@yandex.ru, vitaliyivanov@yandex.ru, aapokrovsky@mail.ru

Материал статьи посвящен вопросу повышения качества и технологичности проведения операций по техническому обслуживанию и ремонту пожарных автомобилей. Использование специализированного оборудования и устройств облегчает работу специалистов ремонтных служб и позволяет в полной мере провести необходимые работы. Учитывая особенности обслуживания трансмиссий, возникает необходимость проведения ряда операций под автомобилем. Для этого он устанавливается над смотровой канавой, на подъемник или эстакаду. В статье рассмотрены все варианты, раскрыты их преимущества, недостатки и особенности использования этих конструкций в пожарно-спасательных частях. Для устранения выявленных недостатков предложена конструкция мобильной разборной эстакады, которой может быть укомплектован ремонтный участок любой пожарно-спасательной части. Невысокая себестоимость, простота изготовления, мобильность, компактность в разобранном состоянии для хранения, универсальность для обслуживания различных автомобилей являются преимуществами предложенной мобильной эстакады. Для определения надежности разработанной конструкции проведены прочностные расчеты, с помощью которых подобран оптимальный профиль для изготовления эстакады и разработаны конструктивные решения, обеспечивающие необходимую прочность конструкции при относительно небольшой массе и габаритах. Особенностью предложенной конструкции является укомплектование ее специальным тяговым приспособлением, которое облегчает заезд на нее неисправного автомобиля с неработающим двигателем или неисправностями ходовой системы. Предложенная мобильная эстакада обеспечит свободный доступ обслуживающему персоналу ко всем узлам и агрегатам пожарных автомобилей, что положительно отразится на качестве проведения ремонтных работ.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, техническое обслуживание, ремонт автомобилей, эстакада, домкрат.

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF FIRE EQUIPMENT BY CREATING THE NECESSARY CONDITIONS FOR ITS REPAIR AND MAINTENANCE

I. A. LEGKOVA, V. P. ZARUBIN, V. E. IVANOV, A. A. POKROVSKY

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: legkovai@mail.ru, docent432@yandex.ru, vitaliyivanov@yandex.ru, aapokrovsky@mail.ru

The material of the article is devoted to the issue of improving the quality and manufacturability of operations for the maintenance and repair of fire trucks. The use of specialized equipment and devices facilitates the work of repair service specialists and allows them to fully carry out the necessary work. Considering the peculiarities of servicing transmissions, it becomes necessary to carry out a number of operations under the car. To do this, it is installed above an inspection ditch, on a lifting device or overpass. The article discusses all options, reveals their advantages, disadvantages and features of using these structures in fire and rescue units. To eliminate the identified shortcomings, the design of a mobile collapsible overpass has been proposed, which can be equipped with a repair area of any fire and rescue unit. Low cost, ease of manufacture, mobility, compactness when disassembled for storage, versatility for servicing various vehicles are the advantages of the proposed mobile overpass. To determine the reliability of the developed structure,

strength calculations were carried out, with the help of which the optimal profile for the manufacture of the overpass was selected and design solutions were developed that ensure the necessary structural strength with a relatively small weight and dimensions. A feature of the proposed design is that it is equipped with a special traction device, which facilitates the entry of a faulty vehicle with a non-working engine or malfunctions of the chassis system. The proposed mobile overpass will provide maintenance personnel with free access to all components and assemblies of fire trucks, which will have a positive impact on the quality of repair work.

Key words: fire truck, maintenance, car repair, overpass, jack.

Эксплуатация автомобилей требует периодического проведения работ по техническому обслуживанию или ремонтных работ в случае выхода из строя узла агрегата или детали. Качество проведения ремонтных работ и мероприятий по техническому обслуживанию зависит от многих факторов. Квалифицированный персонал, возможность использования специального оборудования, правильная и удобная организация ремонтной зоны напрямую влияют на итоговый результат проведенных работ [1]. Это имеет отношение к любой технике, в том числе и к мобильным средствам пожаротушения. Стоит отметить, что ремонт и техническое обслуживание пожарных автомобилей имеет ряд особенностей, связанных с условиями эксплуатации и базирования специальной техники. Стоящие на вооружении в пожарно-спасательных частях автомобиля необходимо обслуживать на территории мест базирования для минимизации времени вывода автомобиля из боевого расчета. Это означает, что в пожарно-спасательных частях необходимо организовывать места, участки, зоны для проведения работ по ремонту и обслуживанию автомобилей¹

Оснащение ремонтных мастерских в пожарно-спасательных частях зависит от парка техники, подлежащей обслуживанию и ремонту, и может отличаться в зависимости от различного количества автомобилей, особенностей, относящихся к устройству в соответствии с маркой автомобиля, и ряда других факторов. Однако есть общие требования к ремонтным участкам независимо от количества особенностей обслуживания техники. К таким требованиям относится наличие подъемных устройств, смотровых канав или эстакад для работы с трансмиссией автомобилей.

Анализ статистических данных по ремонтным участкам пожарно-спасательных частей дает возможность сделать заключение,

что не все ремонтные зоны оборудованы смотровыми канавами. Это объясняется особенностями территориального расположения гаража и особенностью состояния грунта. В случае постоянной высокой влажности грунта, небольшой глубины грунтовых вод, межсезонных температурных колебаний обустройство смотровых канав невозможно или требует значительных финансовых затрат. Решить указанную проблему установкой подъемных механизмов не всегда возможно. Причиной тому служит ограничение площади под ремонтные работы, высокая стоимость самого оборудования, стационарность подъемника и невозможность его временного демонтажа в межремонтный период. Таким образом, вопрос оснащения ремонтных мастерских пожарно-спасательных частей специальной техникой для обслуживания трансмиссии автомобилей является весьма актуальным [2, 3].

Решением указанной выше проблемы является использование специальной эстакады, особенностью которой является модульность конструкции и возможность быстрого монтажа для проведения работ и демонтажа после их завершения. Эстакада состоит из четырех опорных тумб и четырех трапов: двух въездных наклонных и двух горизонтальных. Преимуществом мобильной эстакады является невысокая стоимость на изготовление, возможность установки не только в ремонтной мастерской, но при необходимости и на любой площадке, возможность обслуживать автомобили различной модификации с различными размерами колеи (рис. 1) [4, 5].

Эстакада имеет два варианта сборки. Так, например, для получения свободного доступа под весь автомобиль, эстакада собирается полностью с установкой на тумбы двух горизонтальных трапов и двух наклонных трапов для въезда (рис. 1). Для обслуживания передней или задней оси автомобиля имеется возможность частичной сборки эстакады из двух тумб и двух наклонных трапов. При такой компоновке сокращается место необходимое для установки эстакады, а автомобиль заезжает на нее частично передней или задней осью в зависимости от необходимости проведения ремонтных операций (рис. 2).

¹ Приказ МЧС России от 1.10.2020 № 737 «Об утверждении руководства по организации материально-технического обеспечения министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

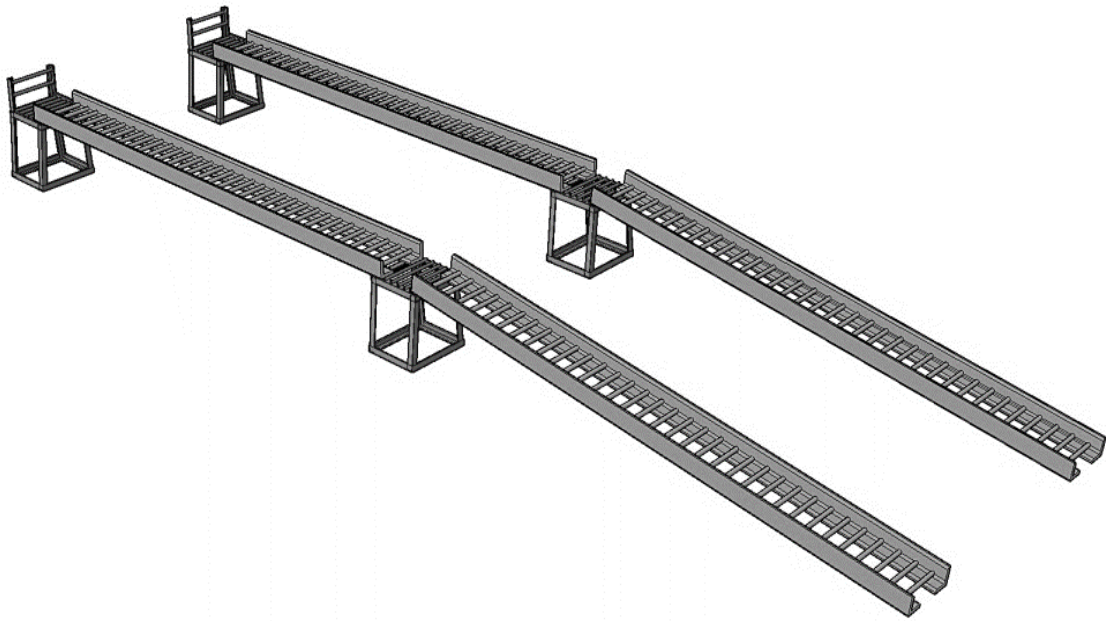


Рис. 1. Разборная эстакада

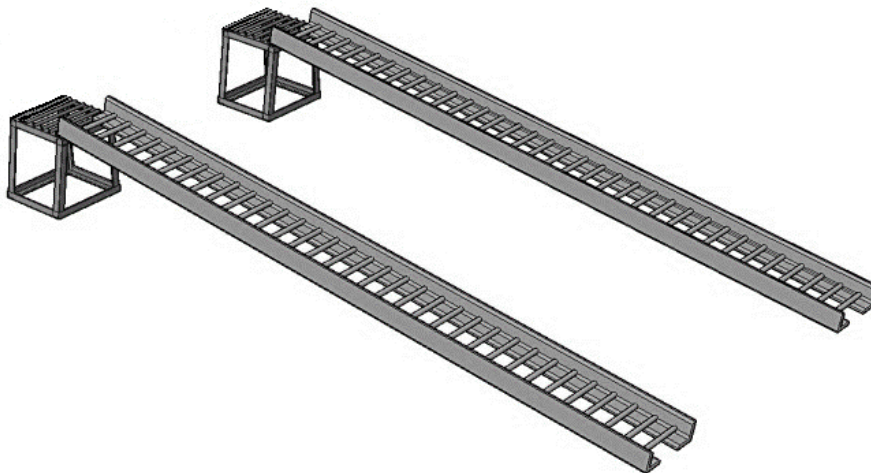


Рис. 2. Частичная компоновка эстакады

Конструкция тумб представляет собой сварную раму трапецевидной формы для обеспечения лучшей устойчивости. Крепление трапов и тумб осуществляется болтовыми соединениями, что облегчает ее монтаж и демонтаж. Для обеспечения безопасности при въезде на эстакаду и исключения самопроизвольного съезда автомобиля, тумбы оснащены возможностью установки ограничителей (рис. 1), которые при необходимости можно демонтировать и переоборудовать эстакаду из тупиковой в прямоточную путем перестановки наклонных трапов.

Габаритные размеры составных частей и всей эстакады в целом определяются с учетом габаритных размеров колесной базы обслуживаемых автомобилей и дополнительным запасом в длину 1 метр для возможности выбора места установки автомобиля на эстакаде (рис. 3). Ширина трапов проектируется с учетом ширины колес грузового автомобиля, что для сдвоенных колес составляет 0,5 м. Уголок, используемый для изготовления трапов, является боковым ограничителем. Его правильное расположение полкой вверх дает дополнительную безопасности от бокового опрокидывания при въезде и съезде автомобиля с эстакады.

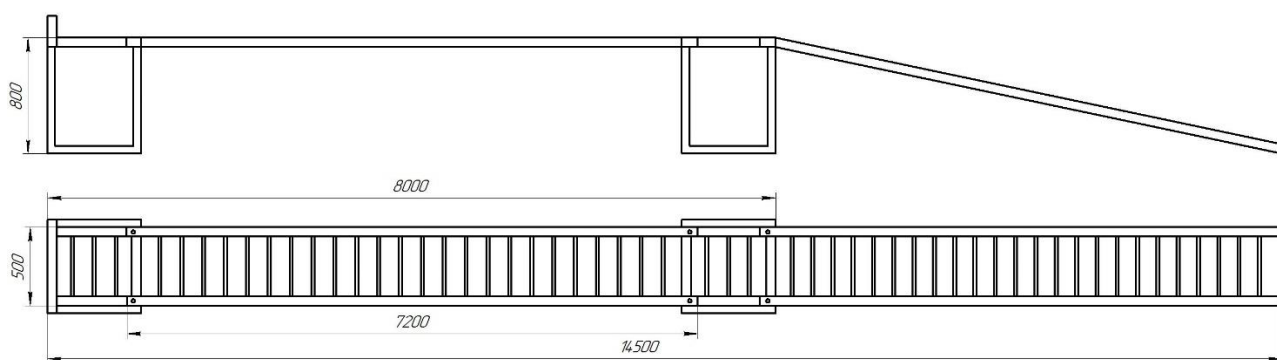


Рис. 3. Рабочий чертеж эстакады

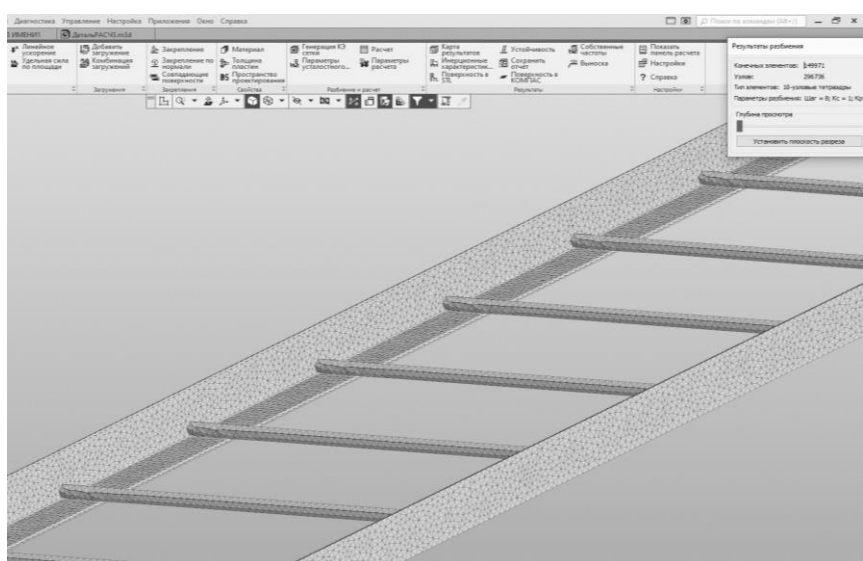
Для удобства монтажа эстакады, а также для уменьшения ее размеров в сложенном состоянии горизонтальные и наклонные трапы целесообразно выполнить составными с установкой промежуточной опоры в середине пролета. Таким образом, размеры и вес составных частей эстакады снижаются, что облегчает процесс ее сборки, разборки и транспортирования при необходимости.

Для определения номера стального уголка, как основного элемента трапов эстакады, обеспечивающего прочность конструкции, были проведены прочностные расчеты в графической системе КОМПАС-3D (рис. 4) [6]. Задавшись массой максимально тяжелого пожарного автомобиля, стоящего на вооружении в большинстве пожарно-спасательных частей, и учитывая распределение нагрузок на конструкцию, были определены требуемое сечение уголка и диаметр прута для трапов эстакады [7, 8], а также разработаны конструктивные решения, обеспечивающие необходимую прочность и жесткость конструкции, а именно под горизонтальные и наклонные трапы были добавлены дополнительные опоры.

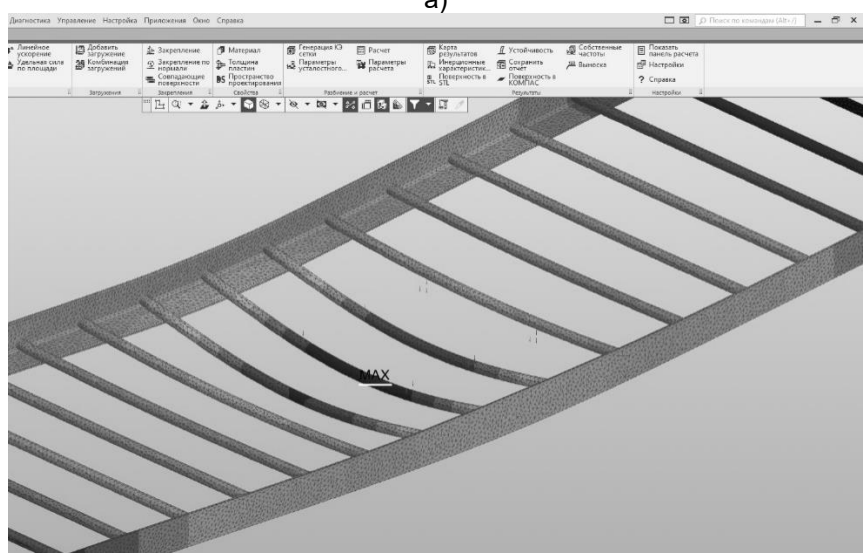
Вторым основным узлом эстакады являются опорные тумбы. За основу в конструкции тумб принимаем уголок такого же сечения, как и для трапов, что обеспечит необходимую прочность и жесткость конструкции. Геометрические размеры тумб так же должны удовлетворять требованиям устойчивости эстакады и обеспечивать удобство ее эксплуатации. Так, от высоты опорных тумб зависит сложность заезда автомобиля на эстакаду и удобство проводимых работ под автомобилем. Проблемным вопросом при использовании эстакады является определенная трудность размещения на эстакаде автомобиля неспособного к

самостоятельному заезду на нее. Например, закатить грузовой автомобиль с неработающим двигателем или с неисправностями трансмиссии на эстакаду, без использования специализированного оборудования, не представляется возможным. Это значит, что в момент заезда автомобиля на эстакаду желательно, чтобы высота тумб была минимальной, а при проведении работ под автомобилем высота тумб должна быть комфортной для расположения обслуживающего персонала под автомобилем. Таким образом, тумбы с изменяемой высотой существенным образом могли бы улучшить условия эксплуатации разборной эстакады. Изменение высоты тумб можно рассматривать при условии встраивания в них подъемных механизмов типа домкрат. Изучив вопрос о конструктивных особенностях и возможностях подъемных систем можно сделать заключение о том, что оптимальными в качестве применения к эстакаде являются домкраты с пневматическим приводом (рис. 5). Это связано с их грузоподъемностью, габаритными размерами и возможностью их параллельного подключения к одной пневматической системе для синхронного управления работой [9].

Однако встраивание пневматического домкрата в тумбы эстакады потребует их конструктивной переработки, что повлечет за собой увеличение габаритов этих элементов, усложнение конструкции и как следствие повышение затрат на изготовление. Это указывает на необходимость поиска других решений в области модернизации эстакады с целью расширения области применения. Для решения проблемы расположения на эстакаде неисправного автомобиля предлагается использовать грузовую лебедку, предназначенную для затягивания автомобиля на эстакаду.



а)



б)

Рис. 4. Прочностной расчет элементов эстакады: а) генерация КЭ сетки; б) визуализация результатов расчетов



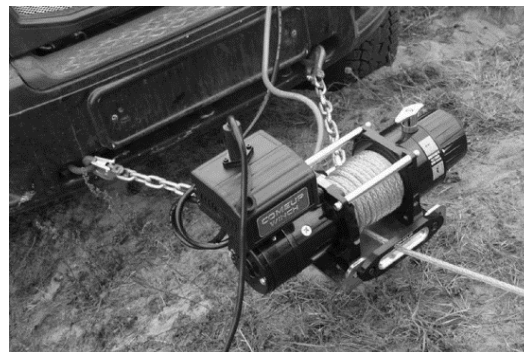
Рис. 5. Подъемники с пневматическим приводом

В настоящее время отечественная и зарубежная промышленность выпускает большое разнообразие электрических автомобильных лебедок, они отличаются тяговым усилием и способом установки на автомобиль. Стационарное установление лебедки (рис. 6а) требует некоторых изменений в конструкции



а)

автомобиля, что не оправдано для решения рассматриваемого вопроса заезда автомобиля на эстакаду. Для этой цели оптимальным является применение навесной лебедки, которая крепится к стандартным буксировочным проушинам любого автомобиля (рис. 6б).



б)

Рис. 6. Лебедка автомобильная: а) стационарная; б) навесная

Тяговое усилие лебедки подбирается с учетом массы автомобиля и условий работы. В основном лебедки применяют на полноприводных автомобилях, работающих в условиях бездорожья. Поэтому чем больше масса автомобиля и сложнее дорожные условия, тем большим тяговым усилием должна обладать лебедка. В наших условиях лебедка требуется для затягивания автомобиля на эстакаду с ровной площадки. Поэтому сопротивление, возникающее на лебедке, будет зависеть только от массы автомобиля и сопротивления пе-

рекачиванию ровной поверхности. Учитывая среднюю массу пожарного автомобиля без огнетушащего вещества в районе 18–20 тонн, усилие на лебедке должно быть не менее 2000 кг. Увеличение тягового усилия лебедки напрямую влияет на ее стоимость. Для экономии средств на приобретение лебедки при сохранении тягового усилия предлагается применить блок усиления, закрепленный на эстакаде. Схема крепления лебедки к автомобилю и способ закрепления блока усиления на эстакаде представлен на рис. 7.

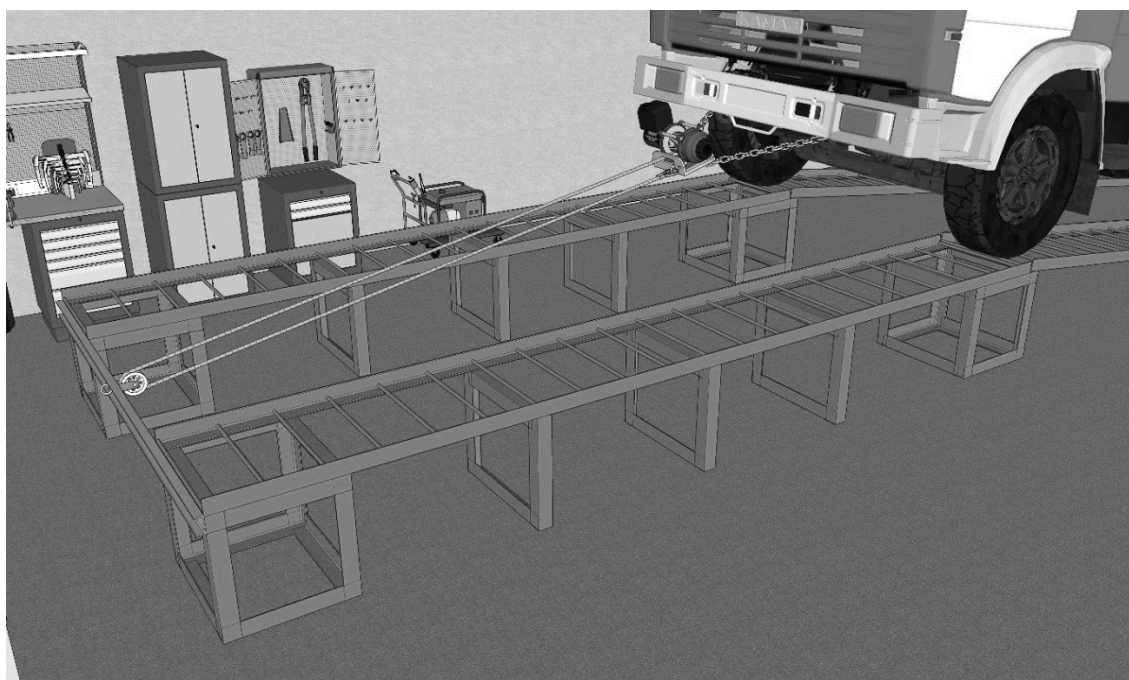


Рис. 7. Эстакада, оснащенная лебедкой и дополнительными опорами

Таким образом, модернизация мобильной эстакады увеличит ее функциональную возможность и позволит расширить область ее применения. Мобильность конструкции обеспечивает возможность транспортировать эстакаду к автомобилю, требующему ремонта или технического обслуживания, устанавливать эстакаду в подходящем помещении или на любой ровной площадке, подходящей для проведения ремонтных работ, легко собирать и разбирать после проведения работ. Эстакада не требует проведения строительных и монтажных работ как при обустройстве смотровых канав или установке грузовых подъемников. Изготовление эстакады, а также ее эксплуатация не требует специальных навыков и допусков на работы обслуживающего персонала. Дополнительное укомплектование и дооснащение эстакады тяговой лебедкой и блоком

усиления позволит применять эстакаду для ремонта автомобилей с нарушениями работы двигателя или ходовой системы, что не возможно при использовании обычных стационарных эстакад.

Применение предложенной мобильной эстакады позволит создать необходимые условия для ремонта и технического обслуживания пожарных автомобилей. Обслуживающий персонал получит полный доступ ко всем узлам и агрегатам. Появится возможность применения специального оборудования, облегчающего демонтаж и монтаж агрегатов большой массы. Увеличится технологичность некоторых работ по ремонту и техническому обслуживанию. Это в свою очередь положительно скажется на эффективности эксплуатации пожарных автомобилей.

Список литературы

1. Жмацкий П. А. Диагностика и быстрый ремонт неисправностей автомобиля // М.: Юрайт, 2013. 206 с.
2. Сычев С. А., Зарубин В. П., Легкова И. А. Увеличение возможностей передвижной мастерской для технического обслуживания пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 237–239.
3. Модернизация передвижной мастерской для обслуживания пожарной техники / В. П. Зарубин, В. В. Киселев, Н. А. Кропотова, [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 2 (9). С. 47–57.
4. Легкова И. А., Зарубин В. П. К вопросу повышения эффективности проведения технического обслуживания пожарных автомобилей / Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 107–112.
5. Легкова И. А., Пучков П. В. Разработка мобильного устройства для технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей // Предупреждение. Спасение. Помощь: материалы Международной научно-практической конференции. Химки: АГЗ МЧС России, 2020. С. 103–104.
6. Иванов В. Е., Пучков П. В., Легкова И. А. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. № 2 (5), 2017. С. 54–66.

7. Возможности современной компьютерной техники для проведения инженерных расчетов / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, С. А. Никитина [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. С. 265–267.
8. Покровский А. А., Зарубин В. П., Пучков П. В. Прочностной расчет устройства для проведения технического обслуживания и ремонта шасси пожарных автомобилей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2022. № 4. С. 188–192. DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-4-188-192.
9. Соболева В. С., Легкова И. А., Зарубин В. П. Разработка конструкции специального приспособления для обслуживания и ремонта пожарных автомобилей / Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 519–525.

References

1. Zhmatskiy P. A. *Diagnostika i bystryy remont neispravnostey avtomobilya* [Diagnostics and quick repair of vehicle faults]. Moscow: Yurayt, 2013. 206 p.
2. Sychev S. A., Zarubin V. P., Legkova I. A. *Uvelicheniye vozmozhnostey peredvizhnoy masterskoy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharnoy tekhniki* [Increasing the capabilities of a mobile workshop for the maintenance of fire equipment] // *Nadezhnost' i dolgovечnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy*

konferentsii. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. Pp. 237–239.

3. Modernizatsiya peredvizhnoy masterskoy dlya obsluzhivaniya pozharnoy tekhniki [Modernization of a mobile workshop for maintenance fire equipment] / V. P. Zarubin, V. V. Kiselev, N. A. Kropotova [et al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2018, vol. 2 (9), pp. 47–57.

4. Legkova I. A., Zarubin V. P. K voprosu povysheniya effektivnosti provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharnykh avtomobiley [On the issue of increasing the efficiency of technical maintenance of fire trucks]. *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov XIV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. Pp. 107–112.

5. Legkova I. A., Puchkov P. V. Razrabotka mobil'nogo ustroystva dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta pozharnykh avtomobiley [Development of a mobile device for maintenance and repair of fire trucks]. *Preduprezhdeniye. Spaseniye. Pomoshch': materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Khimki: AGZ MCHS Rossii, 2020. Pp. 103–104.

6. Ivanov V. E., Puchkov P. V., Legkova I. A. Primeneniye sovremennogo programmnogo produkta dlya trekhmernogo modelirovaniya detaley i uzlov pozharnoy tekhniki

[Application of a modern software product for three-dimensional modeling of parts and assemblies of fire equipment]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, vol. 2 (5), 2017, pp. 54–66.

7. Vozmozhnosti sovremennoy komp'yuternoy tekhniki dlya provedeniya inzhernykh raschetov [Possibilities of modern computer technology for carrying out engineering calculations] / I. A. Legkova, V. P. Zarubin, S. A. Nikitina [et al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2016. Pp. 265–267.

8. Pokrovskiy A. A., Zarubin V. P., Puchkov P. V. Prochnostnoy raschet ustroystva dlya provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta shassi pozharnykh avtomobiley [Strength calculation of a device for maintenance and repair of fire truck chassis]. *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii*, 2022, issue 4, pp. 188–192. DOI 10.36652/0202-3350-2022-23-4-188-192.

9. Soboleva V. S., Legkova I. A., Zarubin V. P. Razrabotka konstruksii spetsial'nogo prisposobleniya dlya obsluzhivaniya i remonta pozharnykh avtomobiley [Development of the design of a special device for the maintenance and repair of fire trucks]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov KHVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. Pp. 519–525.

Легкова Ирина Анатольевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент, доцент

E-mail: legkovai@mail.ru

Legkova Irina Anatolievna

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, assistant professor, assistant professor

E-mail: legkovai@mail.ru

Зарубин Василий Павлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, старший преподаватель, доцент

E-mail: docent432@yandex.ru

Zarubin Vasily Pavlovich

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, senior lecturer, assistant professor

E-mail: docent432@yandex.ru

Иванов Виталий Евгеньевич

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

кандидат технических наук, доцент, доцент

E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

Ivanov Vitaly 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

candidate of technical sciences, assistant professor, assistant professor

E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

Покровский Аркадий Алексеевич

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

кандидат технических наук, доцент, доцент

E-mail: aapokrovsky@mail.ru

Pokrovsky Arkady Alekseevich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, assistant professor, assistant professor

E-mail: aapokrovsky@mail.ru

УДК 614.847.9

МЕТОДИКА ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

А. Н. МАЛЬЦЕВ

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

На основе отечественного и зарубежного опыта, с учетом стандартных методов испытания противопожарных преград предложена методика проведения огневых испытаний устройств для ограничения распространения ландшафтных пожаров. Данная методика необходима для испытания альтернативных созданию минерализованных полос устройств. Необходимость их создания и испытания возникает на труднодоступных для специальной техники участках. В рамках исследования автором проанализированы статистические данные об этих труднодоступных участках местности, обоснована необходимость разработки специальной методики проведения огневых испытаний.

В статье описан порядок размещения оборудования на специальной площадке для проведения огневых испытаний устройств, перечислены предъявляемые к ним требования и условия, периодичность использования измерительных приборов и средств видеофиксации.

Результаты проведенных огневых испытаний в различных условиях обладают элементами научной новизны. Они позволяют обосновать конструктивное исполнение устройства для ограничения распространения ландшафтного пожара, состоящее из двух огнезащитных полотен (скатов).

Предложенный способ проведения огневых испытаний устройств из стеклопластика для ограничения распространения ландшафтного пожара представляет существенное значение для создания новых устройств в целях защиты населенных пунктов и прилегающих территорий от таких пожаров. Он может быть использован при модернизации, модификации, реновации данных устройств при периодической оценке их готовности к применению по назначению.

Ключевые слова: ландшафтный пожар, пожарная безопасность, стеклопластик, минерализованная полоса, устройство, методика, огневые испытания.

METHODS OF FIRE TESTING OF DEVICES FOR LIMITING THE SPREAD OF LANDSCAPE FIRES

A. N. MALTSEV

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: malec-37@mail.ru

Based on domestic and foreign experience, taking into account standard methods of testing fire barriers, a methodology for conducting fire tests of devices to limit the spread of landscape fires is proposed. This technique is necessary to test alternatives to the creation of mineralized bands of devices. The need for their creation and testing arises in areas that are difficult to access for special equipment. As part of the study, the author analyzed statistical data on these hard-to-reach areas of the terrain, justified the need to develop a special methodology for conducting fire tests. The article describes the procedure for placing equipment on a special site for conducting fire tests of devices, lists the requirements and conditions imposed on them, the frequency of use of measuring instruments and video recording equipment. The results of the conducted fire tests in various conditions have elements of scientific novelty. They make it possible to justify the design of a device to limit the spread of a landscape fire, consisting of two flame-retardant canvases (ramps).

The proposed method of conducting fire tests of fiberglass devices to limit the spread of landscape fire is essential for the creation of new devices in order to protect settlements and adjacent territories from such fires. It can be used in the modernization, modification, renovation of these devices with periodic assessment of their readiness for use for their intended purpose.

Key words: landscape fire, fire safety, fiberglass, mineralized strip, device, methodology, fire tests.

Введение

Практически каждый год происходит массовое выгорание лесов, а впоследствии и населенных пунктов. «Ландшафтные пожары»¹ охватывают колоссальные по площади территории, как в Российской Федерации, так и за рубежом, которые уничтожают или повреждают большое количество жилых домов и хозяйственных построек.

В соответствии с действующим законодательством,² на сегодняшний день предусматривается, как правило, выполнение 1 из 3 вариантов реализации противопожарных мероприятий. К таким мероприятиям относятся [1]:

- очистка прилегающей к лесу территории от сухой травянистой растительности, пожнивных остатков, валежника, порубочных остатков, мусора и других горючих материалов на полосе шириной не менее 10 метров от леса;

- отделяют лес противопожарной минерализованной полосой шириной не менее 1,4 метра;

- создание иного противопожарного барьера.

Очень часто на практике возникает большое количество ситуаций, при которых отсутствуют возможности проведения наиболее распространенных первых двух противопожарных мероприятий из-за отсутствия подъездных путей для специальной техники. При этом третий вариант исполнения и применения организационно-технического решения в нормативных документах не описан. Каким должно быть инженерно-техническое исполнение противопожарного барьера было предложено авторами не так давно [2–3]. Отходить от полного прекращения создания минерализованных полос нельзя, поскольку на сегодняшний день данный вид мероприятий является наиболее эффективным при ограничении распространения ландшафтных пожаров и может быть составной частью противопожарной преграды для ограничения распространения ландшафтного пожара [2–3].

Минерализованные полосы — участки территории, расчищенные от горючего материала до минерализованного слоя почвы или обработанные почвообрабатывающими орудиями или иным способом, могут быть самостоятельным противопожарным барьером или входить в более сложный противопожарный барьер в качестве его элемента³. Обустройство минерализованных полос входит в состав мероприятий по обеспечению пожарной безопасности лесов и населенных пунктов и в соответствии со статьей 19 возлагается на органы местного самоуправления⁴. Как уже было сказано выше, существуют различные препятствия для специальной техники при прокладке минерализованных полос, выражающиеся в виде оврагов, болотистой местности, нерационального отведения земельных участков под строительство, а также молодая поросль деревьев. В соответствии с Распоряжением Правительства⁵ минерализованные полосы не являются объектами лесной инфраструктуры, что в свою очередь накладывает дополнительные сложности при сведении древесины, встречающейся на пути следования специальной техники, а стало быть, ведет к нарушению статьи 260 Уголовного кодекса⁶ Российской Федерации.

С целью сбора информации о проблемных участках в Российской Федерации, возникающих при прокладке минерализованных полос на пути следования специальной техники была собрана статистика с территориальных подразделений МЧС России. Проанализирована статистика труднодоступных участков местности табл. 1, возникающих при создании минерализованных полос в субъектах Российской Федерации с наибольшим количеством таких участков.

Из табл. 1 видно, что проблема создания минерализованных полос на определенных участках местности носит актуальный характер и требует непосредственного решения путем использования на подобных отрезках противопожарных преград, отраженных в работах [2–3].

¹ ГОСТ 17.6.1.01-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения: введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам.

² Правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479.

³ ГОСТ Р 57972-2017 Объекты противопожарного обустройства лесов. Общие требования.

⁴ Федеральный Закон от 21.12.1994 № 69 «О пожарной безопасности».

⁵ Распоряжение Правительства № 1283-р «Об утверждении Перечня объектов лесной инфраструктуры для защитных лесов, эксплуатационных лесов и резервных лесов».

⁶ Федеральный Закон от 13.06.1996 № 63 «Уголовный кодекс Российской Федерации».

Таблица 1. Распределение субъектов РФ по наибольшему количеству труднодоступных участков для специальной техники при создании минерализованных полос

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Краткое описание труднодоступного участка местности для создания минерализованной полосы посредством специальной техники, ед.				
		Заливные луга	Плотная застройка	Перепады высот	Лесные насаждения	Общее количество участков
1.	Кемеровская обл.	61	973	657	48	1739
2.	Воронежская обл.	830	235	473	178	1716
3.	Волгоградская обл.	1389	70	99	71	1629
4.	Иркутская обл.	110	1139	119	33	1401
5.	Свердловская обл.	98	640	167	254	1159
6.	Белгородская обл.	129	810	65	5	1009
7.	Красноярский Край	138	418	174	114	844
8.	Липецкая обл.	96	78	393	103	670
9.	Нижегородская обл.	175	127	175	187	664
10.	Томская обл.	84	472	81	3	640

Достаточно большое количество научных исследований и инженерных разработок [4–14, 15–16] в Российской Федерации и за рубежом посвящено решению проблем создания минерализованных полос для защиты лесного фонда от ландшафтных пожаров, что нельзя сказать о населенных пунктах. Вопрос обеспечения пожарной безопасности (далее — ПБ) населенных пунктов, защиты от возможного воздействия на них ландшафтных пожаров до наступления пожароопасного периода решается посредством создания или обновления минерализованных полос. Необходимость в проведении подобных мероприятий играет важную роль в обеспечении ПБ и соблюдении законодательной базы. Зачастую на практике должным образом выполняется далеко не все, что предписывают нормативные акты в области обеспечения ПБ населенных пунктов от воздействия на них ландшафтных пожаров. Недобросовестный подход в определенных случаях к отведению земельных участков в непосредственной близости к лесам ведет к нарушению, способствующему уменьшению разрыва между границей лесного массива и территорией индивидуальной застройки. Известны случаи, когда земельные участки отводятся в непосредственной близости к лиственным лесам под индивидуальную застройку или же сдаются в аренду на долгий срок, при этом заблуждаясь и полагая, что лиственный лес является противопожарной преградой. С определенной долей вероятности лиственный лес относят к естественному противопожарному барьеру, забывая о том, что его эффективность заключается в основном при верховых пожарах, которые распространяются по кронах деревьев. Рассматривая данный естественный барьер в плоскости эффективной защиты

населенных пунктов от возможного ограничения распространения ландшафтного (низового) пожара необходимо уточнить, что распространение пожара происходит по верхнему слою сухой травянистой растительности, включающей в себя разнообразную горючую нагрузку (сухая трава, ветки деревьев и др.). Пренебрегать прекращением создания минерализованных полос не стоит, поскольку данный создаваемый барьер наиболее эффективен при ограничении распространения ландшафтных пожаров и может являться составной частью предлагаемой противопожарной преграды для ограничения распространения ландшафтного пожара [2–3]. Проведенный литературный обзор показал отсутствие научно-исследовательских и инженерно-технических методик по оценке надежности и адекватности противопожарных преград для защиты от ландшафтных пожаров. Поэтому для определения возможности использования предложенного устройства [2–3] была разработана соответствующая методика и проведены необходимые огневые испытания.

Методы исследования

В целях качественного проведения огневых испытаний устройства для предотвращения распространения ландшафтного пожара необходимо заблаговременно осуществить подготовку участка (площадки), на котором будут происходить огневые испытания под соответствующие требования. Площадка для проведения огневых испытаний не должна находиться в границах различных зданий, строений и сооружений. Основопологающим критерием безопасности при выборе места является ее отдаленность от хозяйственных

построек и жилых помещений на расстоянии не менее 50 м.

Огневые испытания должны проводиться на открытой местности (площадке), которая должна иметь относительно небольшие перепады высот до 0,1 м, размеры не менее чем 10×10 м. В целях осуществления безопасности и недопущения распространения огня за границы испытательной площадки используется огнетушитель.

Для проведения испытания достаточно двух человек (операторов), отвечающих за определенный набор действий на конкретном участке площадки проведения эксперимента. Прежде чем осуществить контрольное испытание существует необходимость в проведении тестового поджога горючей нагрузки в целях исключения остаточной влажности в сухой травянистой растительности на площадке.

Для создания условий близких к реальным при воздействии постоянных воздушных потоков в случае необходимости применяется ветровая установка, создающая разные ветровые потоки. Для измерения скорости, создаваемых воздушных потоков при проведении огневых испытаний на открытом пространстве, используется анемометр портативный акустический типа АПА-1/3. Для условий 1–3 тестовый очаг (далее — ТОП-1), описанный в публикации [12]. В условиях 4–6 применяется тестовый очаг в виде распространяющегося фронта пламени со средней величиной мощности тепловыделения 0,79 МВт/м² (далее — ТОП-2). К каждому из представленных условий (1–6) для обоих тестовых очагов применяется горючая нагрузка в виде сухой травянистой растительности (сено, солома, опавшие ветки

деревьев, шишки и т.д.). Горючие материалы, применяемые для тестового очага пожара, располагающиеся на испытательной площадке имеют определенный процент соотношения, где большую часть (не менее 70 %) составляет сухая травянистая растительность и до 30 % приходится на остальные комбинации с сухой соломой и опавшими ветками деревьев. Допустимый температурный диапазон для проведения испытаний должен составлять от 15°С до 30°С, а скорость ветра варьироваться от полного штиля до 17 м/с. На рис. 1 представлена общая схема проведения эксперимента.

Для измерения плотности теплового потока тыльной стороны двускатного полотна на металлической штанге крепится зонд прибора ИПП-2, обращенный приемником к устройству для ограничения распространения ландшафтного пожара. Прибор размещен с тыльной стороны устройства для ограничения распространения ландшафтного пожара по отношению к площадке для проведения огневого испытания. Контроль температуры тыльной стороны двускатного огнезащитного полотна устройства осуществляется оператором при помощи тепловизора каждые 30 с. В качестве источника воспламенения горючего материала для ТОП-2 служит газовый баллон объемом 400 мл с цанговым присоединением горелки. При помощи открытого источника зажигания первым оператором осуществляется поджигание горючего материала ТОП-2 с наветренной стороны по направлению развития пожара. В этот момент второй оператор запускает при необходимости ветровую установку, включает секундомер и начинается проведение эксперимента.

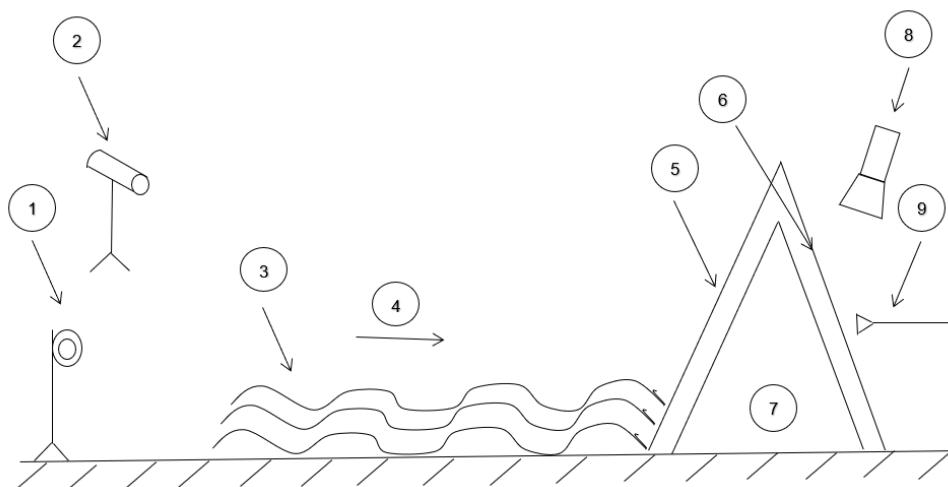


Рис. 1. Размещение оборудования для проведения огневых испытаний устройства:

- 1 – ветровая установка; 2 – видеокамера со штативом; 3 – горючая нагрузка;
- 4 – направление распространения пожара; 5 – 1-й скат полотна; 6 – 2-й скат полотна;
- 7 – устройство для ограничения распространения ландшафтного пожара;
- 8 – контроль температуры тыльной стороны стеклопластика тепловизором;
- 9 – прибор для измерения плотности теплового потока, ИПП-2

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве создания ТОП-2 на часть выжженного (тестового прохода пламени) участка, равномерно была разложена сухая травянистая растительность на площади 4 м², где на 1 м² площади приходится 1 кг горючей нагрузки, прилегающей вплотную к устройству для ограничения распространения ландшафтного пожара. Влажность горючего материала составляла 17 % согласно⁷, что соответ-

ствовало критерию влажности сухого горючего материала (рис. 2).

Температура воздуха при проведении эксперимента составляла 28 °С. Скорость ветра 2 м/с. Через равные интервалы времени в 30 с, полученные значения приборов заносились в табл. 2. Регистрация результатов испытания проводилась посредством фото- или видеосъемки. При этом фотосъемка осуществлялась до, во время и после проведения эксперимента.



Рис. 2. Огневые испытания противопожарной преграды из стеклопластика на основе кремнеорганического связующего (время воздействия — 4 минуты с момента зажигания тестового очага)

Таблица 2. Способ огневых испытаний устройства

№ п/п.	Время, с	Тепловой поток, q (кВт/м ²)	Температура тыльной стороны полотна, T (°С)
1	30	0,055	45
2	60	0,058	49,1
3	90	0,061	51,9
4	120	0,095	54,4
5	150	0,072	60,1
6	180	0,333	130
7	210	0,63	285
8	240	0,8	299,4
9	270	0,411	174
10	300	0,223	137
11	330	0,153	97,5
12	360	0,123	92,2
13	390	0,121	90,8
14	420	0,1	85,4
15	450	0,087	75,2
16	480	0,076	58,9

⁷ ОСТ 10243–2000. Стандарт отрасли сено.

После окончания проведения эксперимента с одним из видов горючей нагрузки возникает необходимость в приведение испытательной площадки в исходный вид. Сгоревший материал убирают, затем тепловизором измеряют температуру поверхности площадки, после её остывания на очищенном месте размещалась другая партия сухой травянистой растительности и при необходимости повторялся эксперимент. В работе [17] проводились испытания теплоизоляционных конструкций из горючих и трудногорючих материалов, используемых для теплоизоляции технологических установок. Как отмечают авторы статьи теплоизоляционные конструкции из армированной эпоксидной смолы удовлетворительно зарекомендовали себя с точки зрения ограничения распространения горения. Недостатком данного способа проведения огневых испытаний по предлагаемой методике является невозможность провести апробацию устройства, которое бы ограничивало распространение пожара по нижнему ярусу сухой травянистой растительности, а также отсутствие создания условий распространения реального ландшафтного пожара.

Целью данного способа являлось определение способности огнезащитного полотна стеклопластика в течение относительно непродолжительного времени противостоять открытому пламенному горению сухой травянистой растительности стандартного ландшафтного пожара, а также в определении максимальной температуры тыльной стороны полотна, создаваемой при пламенном горении. Полученное эмпирическим путем значение температуры тыльной стороны полотна стеклопластика сравнивалось с температурой возгорания сухой травы. Тем самым проверялась возможность использования устройства для защиты от ландшафтных пожаров. Если температура ниже критического значения 333°C [18], то испытываемое устройство применять возможно. Если это значение выше, то устройство требует доработки. В рамках исследования проводились огневые испытания устройств для ограничения распространения ландшафтных пожаров, состоящих из двух видов стеклопластика: на основе эпоксидной смолы и кремнеорганического связующего. Результаты

сравнивались. Огнезащитное полотно из стеклопластика на основе кремнеорганического соединения зарекомендовало себя удовлетворительно с точки зрения ограничения распространения пожара. Модельный очаг не оказывает существенного влияния на огнезащитное полотно, при этом температура тыльной стороны второго ската полотна не превышает температуры самовоспламенения сухой травянистой растительности [18].

Заключение

В работе по созданию устройства из стеклопластика для ограничения распространения ландшафтного пожара проведены огневые испытания при различных условиях. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Обосновано конструктивное исполнение устройства для ограничения распространения ландшафтного пожара, состоящее из двух огнезащитных полотен (скатов). Максимальная температура тыльной стороны огнезащитного односкатного полотна на 1 минуте составляет 550°C , что превышает температуру самовоспламенения в 333°C [18] сухой травянистой растительности. При двускатном исполнении устройства критическое значение температуры самовоспламенения сухой травянистой растительности не достигается.

2. Проведенные огневые испытания показали объективную возможность использования ТОП-2 в качестве тестового очага пожара со средней мощностью тепловыделения $0,79 \text{ МВт/м}^2$.

3. Применение огнезащитного полотна из стеклопластика на основе кремнеорганического связующего «Цельсит-900» в устройстве по результатам огневых испытаний позволяет его использовать в качестве огнезащитного полотна для ограничения распространения ландшафтного пожара.

4. Предложенный способ проведения огневых испытаний устройств из стеклопластика для ограничения распространения ландшафтного пожара может быть использован при модернизации, модификации, реновации данных устройств при периодической оценке их готовности к применению по назначению.

Список литературы

1. Мальцев А. Н., Лазарев А. А. Технологии создания противопожарных преград // Перспективные технологии и материалы: материалы Международной научно-практической конференции. Севастополь: Севастопольский

государственный университет, 2022. С. 406–410.

2. Патент 219622 U1 (RU), Российская Федерация МПК А 62 С 2/06, А 62 С 3/02. Устройство для предотвращения распространения ландшафтного пожара / И. А. Малый,

И. Ю. Шарабанова, А. Н. Мальцев [и др.]; опубл. 28.07.2023, Бюл. № 22.

3. Патент 221505 U1 (RU), Российская Федерация, МПК А 6 С 2/06, А 62 С 3/02. Устройство для предотвращения распространения ландшафтного пожара / И. А. Малий, И. Ю. Шарабанова, А. Н. Мальцев [и др.]; опубл. 09.11.2023, Бюл. № 31.

4. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Влияние характерных свойств лесного массива и скорости ветра на размеры противопожарного разрыва при верховых лесных пожарах // Материалы молодежного экологического форума: сборник трудов конференции. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2013. С. 213–217.

5. Зайцев А. М., Губский С. В. К вопросу возникновения лесных пожаров вследствие самовозгорания лесной подстилки // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2016. № 4 (21). С. 22–29.

6. О пожарной безопасности населенных пунктов, подверженных угрозе ландшафтных (природных) пожаров / О. С. Романова, А. А. Лазарев, В. Ю. Емелин [и др.] // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 337–342.

7. Лазарев А. А., Мальцев А. Н., Торопова М. В. О проблеме пресечения правонарушений, способствующих возникновению экологонеблагоприятных ландшафтных пожаров // Экологические аспекты современных городов: сборник материалов IX межрегионального семинара. Иваново: ИВГПУ, 2023. С. 48–51.

8. Волокитина А. В., Сафронова Т. М. Защита населенных пунктов от природных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. № 3. Том 20. 2011. С. 22–30.

9. Фрейберг И. А., Залесов С. В., Толкач О. В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья: монография. Екатеринбург: Уральский гос. лесотехнический ун-т, 2012. 120 с.

10. Защита населенных пунктов от природных пожаров / С. В. Залесов, Г. А. Годовалов, А. А. Кректунов [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2013. № 2 (108). С. 34–36.

11. Мальцев А. Н., Лазарев А. А. Вероятностный подход к созданию модели распространения ландшафтного пожара // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: сборник материалов Дней науки с международным участием, посвященных 90-летию Гражданской обороны России. В 2-х частях. Часть 1. Екатеринбург: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России. 2022. С. 121–125.

12. Лазарев А. А., Мальцев А. Н. О проблеме создания противопожарных преград для защиты от ландшафтных пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 78–85.

13. Barriers to fire spread in Australian tropical savannas, deriving fire edge metrics from long term high – frequency fire histories / R. Fisher, B. Lewis, O. Price [et al.]. Journal of Environmental Management 301 (2022) 113864.

14. Лябзин А. Л., Лябзина В. С. Возможность замены противопожарных минерализованных полос на лесные дороги и проезды // Форум молодых ученых. 2023. № 6 (82). С. 48–51.

15. Особенности противопожарного обустройства лесов в Российской Федерации / Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, С. В. Малюков [и др.] // Resources and Technology. 2020. Т. 17. № 2. С. 80–96.

16. Создание эффективной защиты населенных пунктов от природных пожаров / А. А. Кректунов, А. Н. Рахимжанов, И. А. Панин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 3 (74). С. 50–57.

17. Пожарная опасность теплоизоляционных конструкций из горючих и трудногорючих материалов / И. А. Болодьян, Ю. И. Дешевых, Ю. Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. 2007. № 2. С. 59–66.

18. Таубкин С. И., Баратов А. Н., Никитина Н. С. Справочник пожароопасности твердых веществ и материалов. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1961. 148 с.

References

1. Maltsev A. N., Lazarev A. A. Tehnologii sozdaniy protivopogarnix pregrad [Technologies for creating fire barriers]. *Perspektivnyye tekhnologii i materialy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Sevastopol': Sevastopol'skiy gosudarstvennyy universitet, 2022. Pp. 406–410.

2. I. A. Maly, I. Y. Sharabanova, A. N. Maltsev [et al.] Ustrojstvo dlya predotvrashcheniya rasprostraneniya landshaftnogo pozhara [A device for preventing the spread of a landscape fire], Patent 219622, Rossiyskaya Federatsiya IPC A 62 C 2/06, A 62 C 3/02 opubl. 28.07.2023, Byul. № 22.

3. I. A. Maly, I. Y. Sharabanova, A. N. Maltsev [et al.] Ustrojstvo dlya predotvrashcheniya rasprostraneniya landshaftnogo pozhara [A device for preventing the spread of landscape fire], Patent 221505 U1 (RU), Rossiyskaya Federatsiya IPC A 62 C 2/06, A 62 C 3/02 opubl. 09.11.2023, Byul. № 31.

4. Fryanova K. O., Gerbel D. P. Vliyanie xarakternux svoistv lesnogo massiva i skorosti

vetra na razmeru protivopogarnogo razruva pri verhovux lesnux pozarax [The influence of the characteristic properties of the forest area and wind speed on the size of the fire gap in riding forest fires]. *Materialy molodezhnogo ekologicheskogo foruma: sbornik trudov konferentsii*. Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii uni-versitet imeni T. F. Gorbacheva, 2013, pp. 213–217.

5. Zaitsev A. M., Gubsky S. V. K voprosu vozniknoveniy lesnux pogarov vsledstvie samovozgoraniya lesnoy podstilki [On the issue of the occurrence of forest fires due to spontaneous combustion of forest litter]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii*, 2016, vol. 4 (21), pp. 22–29.

6. O pozgarnoy bezopasnosti naselennux punktov, podverzennux ugroze ugroze landshaftnykh (prirodnykh) pozharov [On fire safety of settlements threatened by landscape (natural) fires] / O. S. Romanova, A. A. Lazarev, V. Yu. Emelin [et al.]. *Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023, pp.337–342.

7. Lazarev A. A., Maltsev A. N., Topopova M. V. O probleme presecheniya pravonarusheniy, sposobstvuyushchih vozniknoveniyu ekologoneblagopriyatnykh landshaftnykh pozharov [On the problem of suppressing offenses that contribute to the occurrence of environmentally unfavorable landscape fires]. *Ekologicheskiye aspekty sovremennykh gorodov: sbornik materialov IX mezhregional'nogo seminara*. Ivanovo: IVGPU, 2023, pp. 48–51.

8. Volokitina A. V., Safronova T. M. Zashchita naselennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Protection of settlements from natural fires] // *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2011, vol. 20, issue 3, pp. 22–30.

9. Freyberg I. A., Zalesov S. V., Tolkach O. V. Opyt sozdaniya iskusstvennykh nasazhdeniy v lesostepi Zaural'ya: monografiya [The experience of creating artificial plantations in the forest-steppe of the Trans-Urals: monograph]. Yekaterinburg: Ural'skiy gos. lesotekhnicheskii un-t, 2012. 120 p.

10. Zashchita naselennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Protection of settlements from natural fires] / S. V. Zalesov, G. A. Godovalov, A. A. Krektunov [et al.]. *Agrarnyy vestnik Urala*, vol. 2 (108), 2013, pp. 34–36.

11. Maltsev A. N., Lazarev A. A. Veroyatnostnyy podhod k sozdaniyu modeli rasprostraneniya landshaftnogo pozhara [Probabilistic approach to creating a model for the spread of landscape fire]. *Aktual'nyye problemy i innovatsii v obespechenii bezopasnosti: sbornik materialov Dney nauki s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchen-nykh 90-letiyu Grazhdanskoy oborony Rossii*. V 2-kh chastyakh. Chast' 1. Yekaterinburg: Ural'skiy institut Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii, 2022, pp. 121–125.

12. Lazarev A. A., Maltsev A. N. O probleme sozdaniya protivopozharnykh pregrad dlya zashchity ot landshaftnykh pozharov [On the problem of creating fire barriers to protect against landscape fires]. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 78–85.

13. Barriers to fire spread in Australian tropical savannas, deriving fire edge metrics from long term high – frequency fire histories / R. Fisher, B. Lewis, O. Price [et al.]. *Journal of Environmental Management* 301 (2022) 113864.

14. Lyabzin A. L., Lyabzina V. S. Vozmozhnost' zameny protivopozharnykh mineralizovannykh polos na lesnye dorogi i proezdy [The possibility of replacing fire-fighting mineralized strips on forest roads and driveways]. *Forum molodykh uchenykh*, 2023, vol. 6 (82), pp. 48–51.

15. Osobennosti protivopozharnogo obustroystva lesov v Rossijskoj Federatsii [Features of fire-fighting forest management in the Russian Federation] / D. Yu. Druchinin, M. A. Gnusov, S. V. Malyukov [et al.]. *Resursy i tekhnologii*, 2020, vol. 17, issue 2, pp. 80–96.

16. Sozdanie effektivnoy zashchity naselennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Creation of effective protection of settlements from natural fires] / A. A. Krektunov, A. N. Rakhimzhanov, I. A. Panin [et al.]. *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih*, vol. 3 (74), 2020, pp. 50–57.

17. Pozharnaya opasnost' teploizolyacionnykh konstruktsiy iz goryuchiy i trudnogoryuchiy materialov [Fire hazard of thermal insulation structures made of combustible and difficult-to-burn materials] / I. A. Bolodyan, Yu. I. Deshykh, Yu. N. Shebeko [et al.]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2007, issue 2, pp. 59–66.

18. Taubkin S. I., Barátov A. N., Nikitina N. S. *Spravochnik pozharoopasnosti tverdykh veshchestv i materialov* [Handbook of fire hazard of solids and materials]. Moscow: Izd-vo MKKH RSFSR, 1961, 148 p.

Мальцев Алексей Николаевич

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

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: malec-37@mail.ru

Maltsev Alexey Nikolaevich

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

Russian Federation, Ivanovo

adjunct of post-graduate courses

E-mail: malec-37@mail.ru

УДК 614.842.847

МОДЕЛЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

М. Л. МЕЛИКЯН, И. В. ПЕНЬКОВ, А. А. ЛАЗАРЕВ

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

В целях разработки и соблюдения требований пожарной безопасности на уникальных и сложных объектах защиты готовятся специальные технические условия в соответствии с процедурами компетентных государственных органов. Для таких объектов отсутствуют нормативные требования пожарной безопасности. Предлагаемые решения в части обеспечения пожарной безопасности рассматривают нормативно-технические советы МЧС России.

При разработке модели совершенствования нормативных документов на основе опыта работы нормативно-технических советов выделены следующие структурные блоки: основной, диагностико-аналитический и результативный блоки. Реализация этой модели возможна благодаря вероятностно-синергетическому подходу как методологической ориентации в практической деятельности, предполагающей применение совокупности идей, понятий и методов в рассматриваемом исследовании при различных вариациях.

Совершенствование нормативной базы предполагается на этапе разработки и внедрения дополнительных мер в рамках результативного блока.

В качестве примера подобной деятельности служит решение проблемы размещения оборудования для приготовления пищи на открытом огне (мангалы, барбекю и подобного) внутри общественных зданий с последующим внесением изменений в нормативные документы.

В рамках исследования при помощи метода экспертных оценок определена структура единого образца специальных технических условий. К этой работе привлекались четырнадцать экспертов. На основе проведенных расчетов коэффициента конкордации была установлена высокая степень согласованности их мнений.

Ключевые слова: приготовление пищи на открытом огне, специальные технические условия, нормативно-технический совет, отсутствие требований в области пожарной безопасности.

A MODEL FOR IMPROVING REGULATORY DOCUMENTS BASED ON THE EXPERIENCE OF REGULATORY AND TECHNICAL COUNCILS

M. L. MELIKYAN, I. V. PENKOV, A. A. LAZAREV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: kgn@edufire37.ru

In order to develop and comply with fire safety requirements at unique and complex protection facilities, special technical specifications are being prepared in accordance with the procedures of the competent state authorities. There are no regulatory fire safety requirements for such facilities in the country. The proposed solutions to security problems in the Ministry of Emergency Situations of Russia are considered by regulatory and technical councils.

Based on the analysis of the experience of these councils, the authors propose a model for improving regulatory documents. When developing this model, the following structural blocks are distinguished: the main, diagnostic and analytical and effective blocks. The implementation of this model is possible due to the probabilistic-synergetic approach. The improvement of the regulatory framework is expected at the stage of development and implementation of additional measures within the framework of the effective block.

An example of such an activity is the solution of the problem of placing equipment for cooking on an open fire (barbecues, barbecues, etc.) inside public buildings, followed by amendments to regulatory documents.

Within the framework of the study, the structure of a single sample of special technical conditions was determined using the method of expert assessments. Fourteen experts were involved in this work. Based on the calculations of the concordance coefficient, a high degree of consistency of their opinions was established.

Key words: cooking on an open fire, special technical conditions, regulatory and technical advice, lack of requirements in the field of fire safety.

Для реализации нормирования и обеспечения пожарной безопасности¹ (далее – ПБ) уникальных объектов разрабатываются специальные технические условия, отражающие специализированные нормы ПБ (далее – СТУ). Для такого нормирования в соответствии с техническим регулированием² и была реализована статья 78 Технического регламента³, на основании чего был разработан и введен в действие административный регламент⁴. Механизм применения Административного регламента⁴ предполагает создание нормативно-технического совета (далее – НТС) для рассмотрения СТУ.

Согласование СТУ проводится по процедурам, предусмотренным МЧС России и Минстроем России.

В соответствии с Административным регламентом⁴ согласование СТУ является государственной услугой.

Для согласования СТУ должен быть представлен ряд документов. Непредставление полного пакета документов является основной причиной отказов в оказании государственной услуги в согласовании СТУ. Принципиальная схема осуществления деятельности НТС представлена на рис. 1.



Рис. 1. Принципиальная схема осуществления деятельности НТС

Проведение работы по рассмотрению СТУ направлено на создание и разработку требований ПБ для уникальных и сложных объектов, которые построены по нетривиальным проектам или являются памятниками архитектуры. Так же одной из причин разработки

СТУ являются индивидуальные технологические особенности различных производственных процессов и преобразования существующих зданий в multifunctional complexes.

¹ Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».

² Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

³ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

⁴ Приказ МЧС России от 28.11.2011 № 710 «Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвида-

ции последствий стихийных бедствий предоставления государственной услуги по согласованию специальных технических условий для объектов, в отношении которых отсутствуют требования пожарной безопасности, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности, отражающих специфику обеспечения их пожарной безопасности и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению их пожарной безопасности».

сы для одновременного решения большого количества задач и оказания услуг.

СТУ включают в себя недостаточные и (или) дополненные требования пожарной безопасности для рассматриваемого объекта защиты, установки или системы противопожарной защиты, различного оборудования и эксплуатируемых объектов, связанные с отсутствием, отступлением или недостаточностью имеющихся нормативных требований.

Так, например, количество поступивших СТУ для рассмотрения в НТС Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России (далее — ДНПР МЧС России), а их более 400 за 2023 год, говорит об отсутствии требований ПБ для ряда объектов. Рассмотрение столь большого количества СТУ помогает выявить «пробелы» в нормативных правовых актах по ПБ.

В ДНПР МЧС России практически еженедельно проводятся заседания НТС, что говорит о колоссальной нагрузке на НТС. Проводится анализ поступивших СТУ, а именно раздела «необходимость разработки СТУ» на постоянной основе и выявляется потребность в дополнительных нормативных требованиях ПБ.

С внесением изменений в своды правил устранены многие пробелы в нормативно-правовой базе по ПБ и как следствие, уменьшение количества СТУ для вынесения на рассмотрение НТС ДНПР МЧС России. В свою очередь при детальном изучении СТУ разрабатывается конкретный перечень требований для внесения в нормативные правовые акты и нормативные документы.

Так, например, до недавнего времени отсутствовали требования пожарной безопасности к оборудованию для приготовления пищи на открытом огне (мангалы, барбекю и т.п.).

25.01.2021 НТС ДНПР МЧС России было рассмотрено СТУ на Торговый центр «Франт», расположенный в Республике Татарстан, одним из оснований разработки которого послужило отсутствие требований для устройства и использованию в технологическом процессе приготовления пищи кухонного оборудования (печей-жаровень, гриль-печей, мангалов и т.п.), работающего на твердом топливе, в том числе с применением открытого огня.

Комплексом⁵ необходимых мероприятий в рамках разработки СТУ был предусмотрен большой перечень требований ПБ, необходимых для соблюдения на объекте защиты, а именно:

– кухонное оборудование требуется размещать не ниже первого этажа и разделять противопожарными перегородками с нормируемым

пределом огнестойкости не ниже EI (W) 45, противопожарными перекрытиями/покрытиями с пределом огнестойкости не менее REI 60;

– пространство для установки кухонного оборудования с открытым огнем, кроме кухонного оборудования, в котором открытый огонь находится в скрытой полости (каменная печь, тандыр и т.п.) должно выгораживаться вертикальными строительными конструкциями с нормируемым пределом огнестойкости не менее EI 45. При этом допускается указанные ограждающие конструкции выполнять не до потолочного перекрытия/покрытия, но не менее чем на 0,5 м выше верхней точки кухонного оборудования. Каминные, тандыры, печи и т.п., в которых открытый огонь находится в скрытой полости, должны быть оборудованы внешней поверхностью, выполненной из огнеупорных материалов, обеспечивающих нагрев поверхности оборудования не более 60°C;

– показатели пожарной опасности строительных и отделочных материалов ограждающих конструкций помещения для размещения теплогенерирующего оборудования, и покрытия пола (керамическая плитка, бетонная стяжка и т.п.) должны быть НГ;

– не допускается отделка помещения горючими материалами, а также размещение мебели в радиусе 1,5 м от кухонного оборудования;

– вокруг теплогенерирующего оборудования или со стороны технологических отверстий для загрузки/выгрузки, на уровне пола, на расстоянии не менее 0,1 м от внешнего края оборудования, должна быть выполнена обваловка/бортики высотой не менее 0,1 м из материалов группы горючести НГ. Если технологические проемы в кухонном оборудовании расположены на уровне, отличном от уровня пола, требуется применять стационарно установленные или выдвижные поддоны из теплоизолирующего материала класса пожарной опасности НГ, с размерами не менее чем на 0,1 м, превышающими ширину указанного технологического проема, но не менее чем 0,5 × 0,7 м, с бортиками высотой не менее 0,1 м;

– в целях удаления продуктов горения, образовавшихся при приготовлении пищи требуется применять вытяжной зонт, присоединенный к отдельному вытяжному каналу для данного печного оборудования, не связанному с общеобменной вентиляцией здания. Вытяжная труба должна быть оборудована устройством для регулировки вытяжки или дроссель-клапаном, выполняющим такую функцию. Вытяжка, воздуховоды и иное предусмотренное оборудование для удаления продуктов горения не должно мешать свободному выбросу дыма;

⁵ Официальный сайт МЧС России // <http://www.mchs.gov.ru>.

– вытяжную трубу для удаления продуктов горения следует предусмотреть вертикальной, оснащённой модульной автоматической локальной установкой пожаротушения с возможностью ручного запуска. Разрешается оборудовать горизонтальные воздуховоды в месте сопряжения кухонного оборудования и вытяжного канала и (или) воздуховода непосредственно в вытяжной канал, расположенный под углом до 30° к вертикали на расстоянии не более 1 м по горизонтали;

– воздуховоды, способы их крепления, огнезащиту и устройство вентилятора для удаления продуктов горения необходимо предусмотреть и выполнить в соответствии с нормами⁶;

– применение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также горючих газов для розжига запрещается. В последующем ДНПР МЧС России совместно с заинтересованными лицами был разработан перечень требований пожарной безопасности⁷, которые учтены в своде правил⁸. Изменения вступили в законную силу с 01.12.2022. Здесь было указано значительно меньше требований для возможности размещения оборудования для приготовления пищи на открытом огне (мангалы, барбекю и т.п.) в зданиях. В этих случаях печи, камины и мангалы для приготовления пищи на открытом огне разрешаются исключительно в границах помещения для приготовления пищи, выгороженном в зданиях I, II и III степеней огнестойкости — противопожарными перегородками 1-го типа, в зданиях IV степени огнестойкости — противопожарными перегородками 2-го типа. Отделка стен, полов и потолков в помещениях с таким оборудованием требуется выполнять материалами не ниже Г1. Удаление продуктов сгорания требуется обеспечить отдельной вытяжной вентиляцией с самостоятельным дымовым каналом и с оборудованием зонта из негорючих материалов.

Данные изменения позволили более широко использовать рассматриваемые теплогенерирующие устройства на объектах защиты без вложения дополнительных средств со стороны собственников объектов в разработку СТУ и выполнения большого комплекса мероприятий, изложенных в ранее принятом аналоге НТС ДНПР МЧС России.

⁶ Свод правил СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности».

⁷ Постановление Правительства Российской Федерации от 19.11.2008 № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил».

⁸ Свод правил СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».

Рассмотренный пример и обобщение опыта работы НТС [1–5] позволяют сформулировать термин «модель совершенствования нормативных документов на основе опыта работы НТС». Эта модель представляется как разработанный на основе синергетического подхода алгоритм взаимосвязанных действий экспертов, направленных на получение единого мнения по предложенным в специальных технических условиях требованиям ПБ, при выполнении которых ПБ на объекте защиты будет считаться обеспеченной, а выработанные решения становятся основой для изменения нормативных положений. На основе анализа опыта работы НТС предложена модель совершенствования нормативных документов.

Совершенствование и разработка нормативных документов на основе опыта работы НТС — целенаправленная работа по совершенствованию механизмов принятия решений членами НТС, представляющая собою единую систему применения полученных знаний в области обеспечения безопасности, освоенных умений, навыков действий в случае пожара, путем составления событийного (вариативного) ряда, по согласованности выбора приемлемых вариантов решений по соблюдению требований пожарной безопасности на уникальных и сложных объектах, не имеющих установленных законодательством Российской Федерации требований ПБ, непосредственно влияющих на безопасность граждан, пребывающих на рассматриваемой категории объектов. Следовательно, вероятностно-синергетический подход заключается в определении, на основе метода экспертных оценок, наиболее приемлемых решений НТС по итогам рассмотрения СТУ при сложном взаимодействии различных сообществ (экспертного, предпринимательского, промышленников и инвесторов).

В целях исследования использовался метод моделирования, так как он даёт более полную картину анализируемого объекта и совершающихся в нем явлений и процессов, при отсутствии каких-либо ограничений в проведении натурных экспериментов и других исследований.

Также было учтено исследование Федосова С. В., Маличенко В. Г. и других, в связи с чем, была описана модель для оценки на НТС возможности совершенствования нормативных документов [4]. Модель совершенствования нормативных документов на основе опыта работы НТС представлена на рис. 2. При изобретении и обсуждении модели были выведены следующие блоки: основной, диагностико-аналитический и результативный.

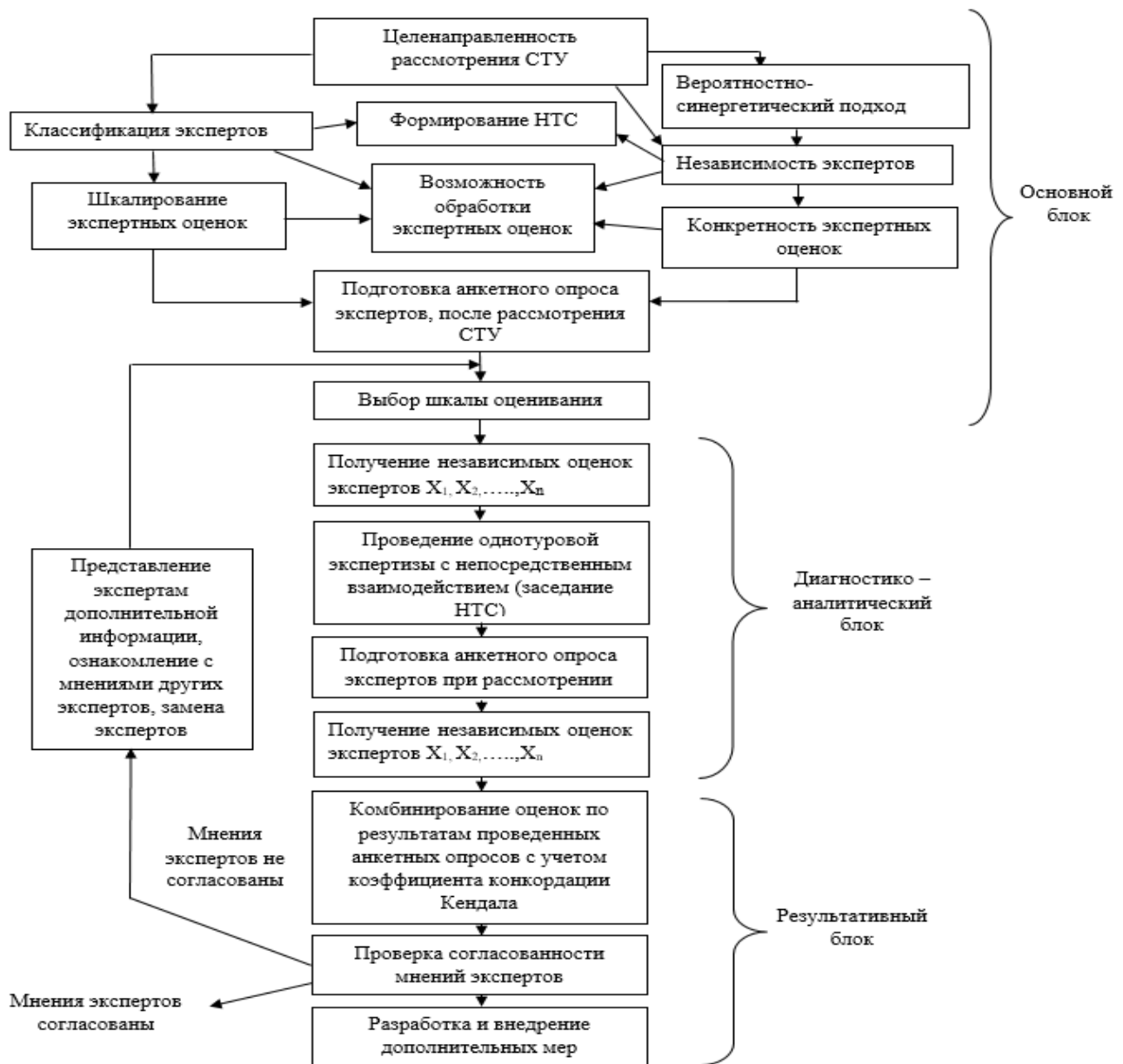


Рис. 2 Модель совершенствования нормативных документов на основе опыта работы НТС

Основной блок включает аргументацию и формирование мнений членов НТС, который представляет собой единую характеристику познаний в рассматриваемой отрасли, освоенных умений, способностей и установившихся ценностей.

Диагностико-аналитический блок предусматривает проведение одной или нескольких дополнительных экспертиз или исследований и согласованность мнений членов НТС.

Результативный блок делает вывод и показывает оценку действенности рассматриваемой модели по согласованности мнений членов НТС при рассмотрении СТУ. В рамках

данного блока проводится подготовка изменений в своды правил, разработка унифицированных форм документов.

Изображённая модель может быть методологической базой работы Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации, в соответствии с их приказами по деятельности нормативно-технических советов, что будет способствовать совершенствованию механизмов управления при принятии решений об обеспечении пожарной безопасности.

Для апробации предложенной модели было проведено анкетирование экспертов НТС по определению наименований разделов единого образца СТУ, по заранее разработанной анкете с унифицированными вопросами, для последующего вычисления коэффициента конкордации. Составленный список вопросов подразумевал несколько вариантов ответов. Анкетирование проходило без совместного обсуждения экспертами своих мнений, для получения более точных результатов, при этом эксперты не обсуждали рассматриваемый проект СТУ, предоставленный на изучение НТС.

Далее проводился анализ ответов экспертов на вопросы анкеты. Отношение экспертов к включению раздела «Общие положения» в структуру СТУ выглядит следующим образом: 9 экспертов предпочитают подробное описание данного раздела (64 %), 5 экспертов считают необходимым краткое изложение данного раздела (36 %).

По вопросу необходимости уточнения номера пункта нормативного документа, при указании отступления от нормативного документа по ПБ, изданного в развитие Федерального закона³ в разделе «Необходимость разработки СТУ, мнения экспертов разделились следующим образом: за включение пункта высказались 8 экспертов (57 %), 6 экспертов были против этого (43 %).

Следующий вопрос касался возможности перечисления ряда объектов, на которые могут распространяться СТУ. По данному вопросу 11 экспертов ответили утвердительно (79 %), 3 эксперта ответили отрицательно (21 %).

По разделу «Краткое описание объекта» перед экспертами был поставлен вопрос о необходимости перечисления лиц (лица), ответственных за достоверность представленных исходных данных в СТУ. При ответе на этот вопрос 79 % экспертов согласились с такой необходимостью, предложили указать эти сведения в другом разделе 14 % экспертов, не усмотрели потребность в этих сведениях — 7 %.

На вопрос о необходимости раздела «Термины и определения» были получены следующие ответы: 50 % экспертов предпочли соблюдать установленные требования без дополнительных уточнений, 43 % — предложили подробное описание дефиниций в этом разделе, 7 % — не усмотрели потребность в этом разделе.

При определении названия для раздела про систему обеспечения ПБ объекта мнения экспертов разделились следующим обра-

зом: 9 экспертов выбрали систему обеспечения ПБ объектов защиты (64 %), 3-ми выбор был сделан по требованиям к инженерным системам противопожарной защиты (22 %), двое отметили вариант с требованиями к системе обеспечения ПБ объекта (14 %).

При решении вопроса о выборе названия подраздела по тематике обеспечения ПБ людей в разделе «Компенсирующие мероприятия и дополнительные требования пожарной безопасности» эксперты остановились на двух вариантах: 6 экспертов выбрали «Требования ПБ к эвакуационным путям выхода» (43 %), 8 экспертов определили название «Эвакуация людей при пожаре и объемно-планировочные решения» (57 %).

При решении вопроса о выборе названия подраздела о противопожарном водоснабжении 6 экспертов предложили варианты «Требования ПБ к системам внутреннего и наружного противопожарного водоснабжения» и «Наружный и внутренний противопожарный водопровод» (по 43 %), 2 эксперта вовсе предложили исключить данный раздел (14 %).

В рамках определения названия подраздела о противодымной защите мнения экспертов разделились — 8 выбрали «Требования ПБ к системам вентиляции и противодымной защиты», 6 выбрали название «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Система противодымной защиты».

По вопросу выбора названия для подраздела о деятельности пожарной охраны мнения были высказаны следующим образом: 7 экспертов (50 %) выбрали «Мероприятия по обеспечению деятельности пожарных подразделений», 6 экспертов (43 %) выбрали «Требования ПБ к генеральному плану. Деятельность подразделений пожарной охраны», 1 эксперт установил отсутствие необходимости в данном разделе (7 %).

Итоги проведенного исследования показали, что большинство экспертов согласны с предложенными изменениями структуры СТУ, вместе с тем и значительная часть экспертов имеют отличные мнения по ряду вопросов. Следовательно, для определения согласованности мнений экспертов требуется проведение расчета коэффициента множественной ранговой корреляции [6]. Проведенный расчет показал согласованность мнений экспертов, так как численное значение коэффициента конкордации равно 0,64.

В рамках проведенного исследования была разработана приемлемая структура СТУ, представленная на рис. 3.

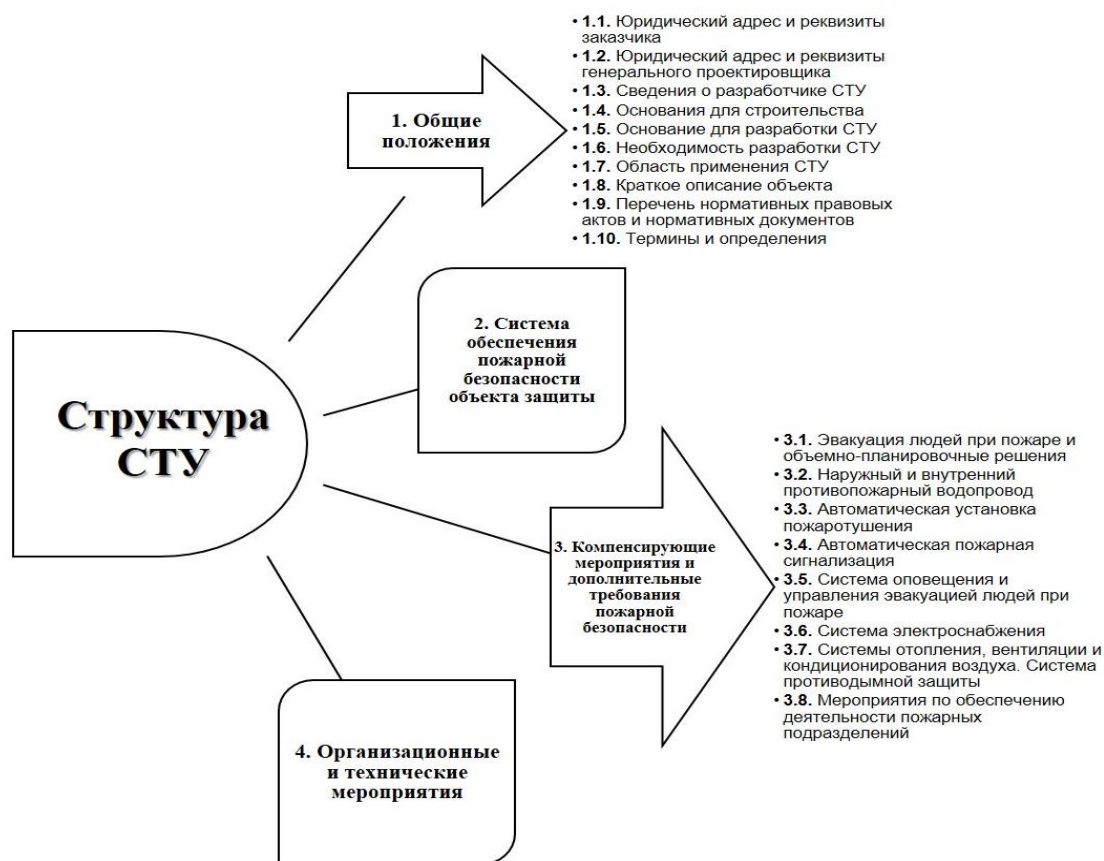


Рис. 3 Структура СТУ

Таким образом, можно сделать вывод, что рассмотрение СТУ является одной из важнейших функций МЧС России в сфере регулирования и разработки требований пожарной безопасности для уникальных, технически сложных, а также современных объектов защиты, для которых отсутствуют или не в пол-

ном объеме разработаны требования ПБ. Предложенная модель и определенное на основе экспертных оценок содержание единого образца СТУ позволяют структурировать и модифицировать деятельность по совершенствованию нормативно-технической работы.

Список литературы

1. Кирюханцев Е. Е., Иванов В. Н. Проблемы разработки и согласования специальных технических условий в области пожарной безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2016 г. № 5 (69). С. 23–34. EDN: YPBFLN

2. Лазарев А. А., Смирнов А. В. К вопросу оформления предписаний об устранении нарушений обязательных требований пожарной безопасности // Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 63–65. EDN: LRIVKH

3. Клушин А. Н., Лазарев А. А. О совершенствовании технического регулирования при разработке правил пожарной безопасности для торгово-развлекательного центра. // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Межвузовской научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С 628–631. EDN: YJWNMI

4. Модель оценки на нормативно-техническом совете возможности внедрения новых строительных материалов / С. В. Федосов, В. Г. Маличенко, А. А. Лазарев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 4. С. 14–25. EDN: JIPRVТ

5. Красавин А. В. Нормы пожарной безопасности. Системная проблема // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 4. С. 8–11. EDN: MSZDBP

6. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю. М. Баженов, И. А. Гарькина, А. М. Данилов [и др.]. М: МГСУ, 2012. 432 с.

References

1. Kiryuhantsev E. E., Ivanov V. N. Problemy razrabotki i soglasovaniya spetsialnykh tekhnicheskikh usloviy v oblasti pozharnoy bezopasnosti [Problems of development and coordination of special technical conditions in the field of fire safety]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2016, vol. 5 (69), pp. 23–34. EDN: YPBLFN

2. Lazarev A. A., Smirnov A. V. K voprosu oformleniya predpisaniy ob ustraneni narusheniy obyazatelnykh trebovaniy pozharnoy bezopasnosti [On the issue of issuing regulations on the elimination of violations of mandatory fire safety requirements]. *Sbornik materialov XIV Mejdunarodnoy nauch-no-prakticheskoy konferentsii «Pojarnaya i avariynaya bezopasnost», posvyaschennoy 370-y godovschine obrazovaniya pozharnoy ohrane Rossii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2019. Pp. 63–65. EDN: LRIVKH

3. Klushin A. N., Lazarev A. A. O sovershenstvovanii tekhnicheskogo regulirovaniya pri razrabotke pravil pozharnoy bezopasnosti dlya

torgovo-razvlekatelnogo tsentra. [On the improvement of technical regulation in the development of fire safety rules for a shopping and entertainment center]. *Sovremennyye pojarobezopasnyye materialy i tekhnologii: sbornik materialov Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy 370-y godovschine obrazovaniya pozharnoy ohrany Rossii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2019. Pp. 628–631. EDN: YJWNMI

4. Model otsenki na normativno-tekhnicheskom sovete vozmojnosti vnedreniya novykh stroitelnykh materialov [Assessment model at the regulatory and Technical Council of the possibility of introducing new construction materials] / S. V. Fedosov, V. G. Malichenko, A. A. Lazarev [et al.]. *Vestnik Povoljskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii*, 2020, issue 4, pp. 14–25. EDN: JIPRV

5. Krasavin A. V. Normy pozharnoy bezopasnosti. Sistemnaya problema [Fire safety standards. A systemic problem] // *Pozharovzryvobezopasnost*, 2010, vol. 19, issue 4, pp. 8–11. EDN: MSZDBP.

6. Sistemnyy analiz v stroitelnom materialovedenii: monografiya [System analysis in building Materials science: monograph] / Yu. M. Bajenov, I. A. Garkina, A. M. Danilov [et al.]. M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Federatsii, FGBOU VPO «Mosk. gos. stroit.un-t». Moscow: MGSU, 2012. 432 p.

Меликян Мария Левоновна

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

E-mail: kgn@edufire37.ru

Melikyan Mariya Levonovna

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
masters student

E-mail: kgn@edufire37.ru

Пеньков Иван Вячеславович

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

E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru

Penkov Ivan 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
adjunct of post-graduate courses

E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru

Лазарев Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

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

E-mail: kgn@edufire37.ru

Lazarev Alexander Alexandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, associate professor,

head of the department

E-mail: kgn@edufire37.ru

УДК 614.842.6

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ И ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

П. В. МОЛОДОЖЕНЦЕВ¹, А. Д. ИЩЕНКО²

¹ ФГКУ «Специальное управление ФПС № 10 МЧС России»,
Российская Федерация, Челябинская область, г. Трехгорный

² Академия ГПС Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий,

Российская Федерация, Москва

E-mail: ugps6okvr@yandex.ru, adinko@mail.ru

В настоящем наиболее перспективным направлением, определенным в Государственной политике Российской Федерации, является разработка и внедрение современных средств и технологий обеспечения пожарной безопасности, координация осуществления основных научных исследований и разработок. При пожарах на объектах энергетики необходимо обеспечить безопасную и оперативную локализацию пожара, в целях поддержания работоспособности защищаемого объекта. При этом необходимо учесть ряд факторов: наличие людей, время свободного горения, профессионализм участников тушения пожара, наличие эффективной пожарной техники и соответствующих огнетушащих веществ, объемы горючей нагрузки, соответствие защищаемого объекта противопожарным требованиям и прочее. В данной статье проведен сравнительный анализ применения пожарной техники и пожарно-технического вооружения при локализации пожаров на объектах энергетики. Предложены мероприятия для повышения уровня пожарной безопасности.

Ключевые слова: объект энергетики, пожарная техника, локализация, пожарные стволы, теория и практика.

TECHNOLOGY FOR THE USE OF FIREFIGHTING EQUIPMENT AND FIRE-TECHNICAL WEAPONS IN THE LOCALIZATION OF FIRES AT ENERGY FACILITIES

P. V. MOLODOZHENTSEV¹, A. D. ISHCHENKO²

¹ Federal State Budgetary Institution «Special Directorate of FPS No. 10
of the Ministry of Emergency Situations of Russia»,

Russian Federation, Chelyabinsk region, Trekhgornyy

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Academy of GPS of the Ministry of Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Russian Federation»,

Russian Federation, Moscow

E-mail: ugps6okvr@yandex.ru, adinko@mail.ru

In the present, the most promising direction defined in the State Policy of the Russian Federation is the development and implementation of modern fire safety tools and technologies, coordination of the implementation of basic scientific research and development. In case of fires at energy facilities, it is necessary to ensure safe and prompt localization of the fire in order to maintain the operability of the protected object. It is necessary to take into account a number of factors: the presence of people, the time of free gorenje, the professionalism of the participants in extinguishing the fire, the availability of effective fire equipment and appropriate extinguishing agents, the volume of combustible load, compliance of the protected object with fire protection requirements and so on. In this article, a comparative analysis of the use of fire fighting equipment and fire-technical weapons in the localization of fires at energy facilities is carried out. Measures are proposed to increase the level of fire safety.

Key words: energy facility, fire equipment, localization, fire barrels, theory and practice.

Комплексной безопасности на различных объектах топливно-энергетического комплекса в нашей стране уделяется особое внимание. Так федеральным законодательством, введено определение таких объектов, в которые включены объекты электроэнергетики, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газовой, угольной, сланцевой и торфяной промышленности, а также объекты нефтепродуктообеспечения, теплоснабжения и газоснабжения. Целями обеспечения безопасности данных объектов являются их устойчивое и безопасное функционирование, защита интересов личности, общества и государства в сфере топливно-энергетического комплекса от актов незаконного вмешательства¹.

В нашем исследовании рассмотрим понятие технологии с позиции совокупности различных приёмов и способов получения материалов, необходимых для тушения пожаров [1].

Пожар интересует нас как неконтролируемое горение, в процессе которого причиняется материальный ущерб, наносится вред жизни и здоровью граждан, а также интересам государства и общества².

Локализовать пожар необходимо действиями, направленными на предотвращение его свободного распространения, а также созданием условий для его полной ликвидации сосредоточенными силами и средствами³.

В случае пожара на объектах энергетики необходимо ограничить свободное горение горючей нагрузки используя идентификационные характеристики зданий, системы пожарной автоматики, а также совокупность приёмов и способов профилактики, работы с пожарной техникой.

Целью исследования выберем сравнение показателей практического применения пожарной техники, пожарно-технического вооружения и расчетных данных, предлагаемых теорией тактики пожаротушения.

В настоящее время уровень пожарной безопасности зависит от научных и технических достижений цивилизации и обеспечивается соблюдением различных правил и созданием способов защиты от воздействия опасных факторов пожара. В качестве основ-

ных критериев значатся: свободное развитие пожара в течение 10 мин, обеспечение беспрепятственной эвакуации, а также недопущение выхода опасных факторов пожара за границы помещения⁴.

Пожар на объекте энергетики возможно предотвратить несколькими способами, а именно исключить образование горючей среды и источников зажигания. В случае, когда пожар предупредить не удалось на этапах проектирования, строительства, эксплуатации охраняемого объекта энергетики предусматриваются меры к минимальному развитию пожара. Эти меры зависят от места, где возник очаг пожара, также следует учесть вид горючего материала, способы его хранения и плотность размещения, другие важные факторы.

Исходя из этих условий, согласно статистическим данным, большинство пожаров ликвидируются подразделениями пожарной охраны, прибывающими на объект энергетики, в среднем за 7,3 мин. К этому времени необходимо прибавить время разведки и боевого развертывания, с соблюдением правил безопасности, что сразу выводит временные показатели за значения в 10 минут. Начальная стадия развития пожара завершается и перед участниками тушения пожара возникает необходимость привлечения дополнительных сил и средств. За это время в свободном развитии пожар достигает в среднем площади порядка 30 м², если не учитывать факторы, осложняющие тушение, то вполне возможно ликвидировать такой пожар одним ручным пожарным стволом. В качестве факторов, осложняющих тушение необходимо упомянуть опасные факторы пожара (особенно токсичность продуктов горения и видимость в дыму), требования по электробезопасности, сложная планировка и доступность очага пожара, а также алгоритм проведения разведки, направленный на первоочередной поиск пострадавших [2].

Анализ пожаров на объектах энергетики за 2013–2022 годы выявил дополнительные временные задержки, связанные с преодолением контрольно-пропускных пунктов (среднее время составило 3 минуты) и получением разрешительного допуска, необходимого для тушения пожара на энергетическом оборудовании без электрического напряжения, среднее время 27 минут.

¹ Федеральный закон от 21.07. 2011 № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» [Электронный ресурс] // Правовой портал Гарант.ру. Режим доступа: <https://base.garant.ru/12188188/>

² Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный ресурс] // Правовой портал Гарант.ру. Режим доступа: <https://base.garant.ru/10103955/>

³ Там же

⁴ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс] // Правовой портал Гарант.ру. Режим доступа: <https://base.garant.ru/12161584/>

Кроме всего прочего управление в условиях пожара усложняется в силу появления ряда обстоятельств, связанных с высокой степенью неопределенности, недостатком времени для анализа, отсутствием достоверной информации, потребностью в выполнении специфических действий высокого уровня сложности, решить которые не представляется возможным даже с учетом документов предварительного планирования тушения пожара.

Роль человека в технологии тушения пожаров на объектах энергетики имеет решающее значение. Надлежащая подготовка, быстрое реагирование и принятие решений, а также строгое соблюдение установленных протоколов могут значительно увеличить шансы на успех в тушении пожара. Кроме того, регулярные учения и тренировки помогают подготовить персонал к реальным чрезвычайным ситуациям и усовершенствовать их реагирование. Человеческий фактор также может повлиять на причину пожаров на энергетических объектах, поскольку в некоторых случаях человеческая ошибка или небрежность могут

быть существенным фактором, способствующим возникновению пожаров. Таким образом, важно подчеркнуть необходимость соблюдения процедур и правил техники безопасности для предотвращения пожаров и обозначить роль человека в качестве ключевого участника тушения пожара [3].

До прибытия подразделений пожарной охраны первые действия по ликвидации горения на объектах энергетики выполняет персонал. Согласно предписанному алгоритму действий после отключения оборудования от сети вводятся в действие стационарные установки пожаротушения, если они не были включены автоматически, предпринимают попытку запуска в ручном режиме, далее используют ПСПТ [4].

С учетом статистических данных, полученных в результате запроса во ВНИИПО МЧС России, базирующегося на данных карточек учета пожаров в России за период с 2014 по 2022 годы, получены следующие показатели тушения пожаров на объектах энергетики, представленные в табл. 1⁵.

Таблица 1. Показатели применения пожарной техники и оборудования

№ п/п	Наименование устройства	Паспортные данные		Количество применений в год
		Площадь тушения, м ²	Дальность действия, м	
1.	Порошковые огнетушители ОП 2 - ОП 50	0,7–8,5	3–5,5	45
2.	Негорючие газы ОУ 2 - ОУ 80	0,45–4,7	1,5–5,5	11
3.	Пожарный ствол ручной	10–40 (получено расчетным путем, с учетом ТТХ и интенсивности)	1–18	665
4.	Пожарный ствол лафетный	100–200	30–35	4

Среднее годовое количество пожаров в помещениях на объектах энергетики в России за последние 10 лет составило 675. Из них, согласно полученным в результате анализа данным, огнетушители различных типов применялись только 56 раз, что составляет 8,3 %. Пожарные стволы использовались на пожарах в 669 случаях, что равно 99,11 %. Особое внимание стоит уделить применению на объектах энергетики пожарных лафетных стволов, которые использовались в среднем 4 раза в год, что составляет 0,59 %. При этом площадь ана-

лизируемых пожаров варьировалась от 1 м² до 2700 м².⁶

В результате обработки массива данных установлено среднее значение применения огнетушителей на пожарах в помещениях объектов энергетики со средней площадью 2,8 м², что совпадает с диапазоном заявленных в паспортах заводов изготовителей характеристик изделий.

Дальнейшее изучение показателей тактических действий участников тушения пожара, выявило частое применение ручных пожарных стволов, для ликвидации горения, одновременно установлено доминирующее ис-

⁵ Технические характеристики углекислотных, порошковых и воздушно-пенных огнетушителей [Электронный ресурс] // сайт компании Русарсенал – Режим доступа: <http://www.rusarsenal.ru/catalog/fire-extinguishers/specifications/>

⁶ Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.

пользование в качестве основного огнетушащего вещества воды в 74 % случаев.

Выборочный анализ данных карточек учета пожара (связанных с описанием исследуемых пожаров), показал достаточную по расчетам обеспеченность нужд пожаротушения водой.

Основополагающей целью данного исследования является выявление влияния теоретической базы и нормативных требований на практическую (боевую) составляющую тушения пожара на объекте энергетики.

Статистические данные, полученные из ВНИИПО МЧС России и сформированные на основании карточек учета пожаров в России, обрабатывались при помощи программного обеспечения MS Excel⁷.

В практической деятельности подразделения пожарной охраны выстраивают алгоритм боевых действий в соответствии с Порядком привлечения сил и средств подразделений гарнизонов, территориальных (местных) гарнизонов для тушения пожаров и проведения АСР, в котором установлено требование разрабатывать документы предварительного планирования действия по тушению пожаров и проведению АСР. А именно в гарнизонах разрабатываются планы привлечения сил и средств, расписания выездов подразделений, планы пожаротушения, карточки тушения пожаров⁸.

Существенное требование изложено в пункте 107 приказа МЧС России от 25.10.2017 № 467, определяющее проводить расчет необходимых сил и средств для тушения пожаров и проведения АСР по двум наиболее сложным вариантам развития возможного пожара в организации.

Реализовать изложенные требования, должностными лицами пожарной охраны возможно проведя обоснование необходимых для тушения пожара и проведения АСР сил и средств в соответствии с методикой их расчета, предложенной в большинстве учебников и справочников по пожарному делу.

После разработки и утверждения, документы предварительного планирования тушения пожаров попадают, в том числе, к диспетчеру гарнизона, в обязанности которого входит «направлять к месту вызова силы и средства подразделений гарнизона в соответствии с расписанием выезда подразделений местного гарнизона для тушения пожаров и проведения АСР». В результате при поступлении сигнала от автоматических систем защиты или сообщения о пожаре, к месту возможного возгорания направляется внушительное количество пожарной техники и личного состава, только по причине совпадения адреса объекта [5].

Принципиальная схема подачи огнетушащих веществ на объекте энергетики представлена на рис. 1.

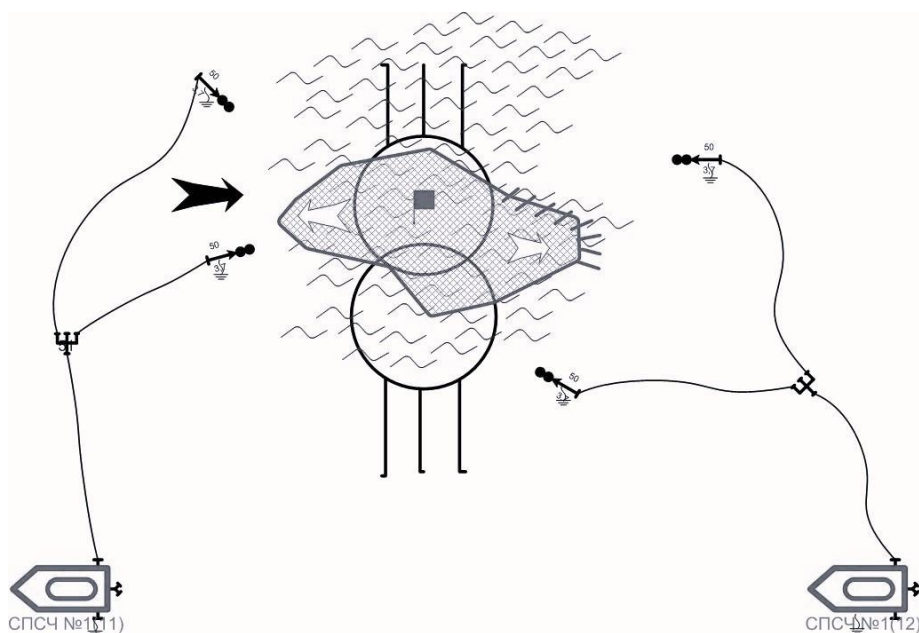


Рис. 1. Принципиальная схема подачи огнетушащих веществ на объекте энергетики

⁷ Письмо ФГБУ ВНИИПО МЧС России от 24.01.2023 № М-117-178 «О предоставлении статистических данных»

⁸ Приказ МЧС России от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» [Электронный ресурс] // Правовой портал Гарант.ру. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71833064/>

Исходя из тактических возможностей отделения на автомобильной цистерне с производительностью насоса 40 л/с на уровне земли возможна подача 3 стволов, типа КУРС-8, схема представлена на рис. 2.

Дальнейшее исследование проводилось на основании репрезентативной выборки пожаров из общей (генеральной) совокупности. Из общего массива данных были выбраны параметры, которые соответствуют показателям всех произошедших пожаров за указанный период времени. Исключение составили некорректно введенные в карточки учета пожаров данные.

Так общее количество пожаров за период 2014–2022 годов составило 6750 пожаров.

Доверительную вероятность, уверенность, надежность исследования примем на уровне 97 %, доверительный интервал погрешности на уровне 3 %.

По формуле (1) проводим расчет показателя репрезентативности выборки:

$$N = (g^2 * z^2) / d^2, \quad (1)$$

где: N — искомый объем выборки;

g — дисперсия признака, ожидаемое среднее отклонение получаемых результатов от ожидаемого среднего значения;

z — коэффициент уровня достоверности;

d — уровень точности⁹.

Таким образом, требуемый размер выборки составляет не менее 444 случаев. Данную репрезентативность обеспечивает набор статистических данных за 2021 год.

В нашем исследовании установим наличие статистически значимой взаимосвязи между количеством привлекаемых к тушению пожарных цистерн и поданных стволов, с итоговой площадью пожара.

Проверим влияние на площадь пожара количества привлекаемых автомобильных цистерн. Диаграмма рис. 3 демонстрирует различия между средними арифметическими показателями площадей пожаров и медианными значениями в различных группах.

Зададим следующее условие: «среднее количество АЦ, не зависит от площади пожара».

Наш анализ выполнен при помощи MS Excel. Результаты дисперсионного анализа данных приведены в табл. 2.

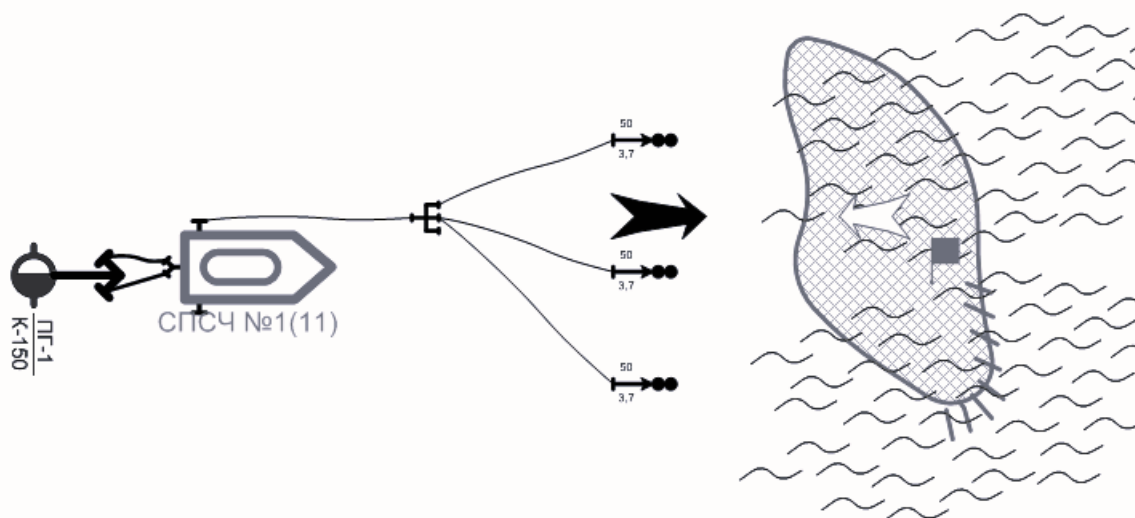


Рис. 2. Принципиальная схема подачи ручных стволов от АЦ.

⁹ Березин И.С. Практические способы построения выборки в исследованиях и опросах [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.elitarium.ru/issledovanie-vyborka-reprezentativnost-dostovernost-doveritelnyj-interval-formuly/>

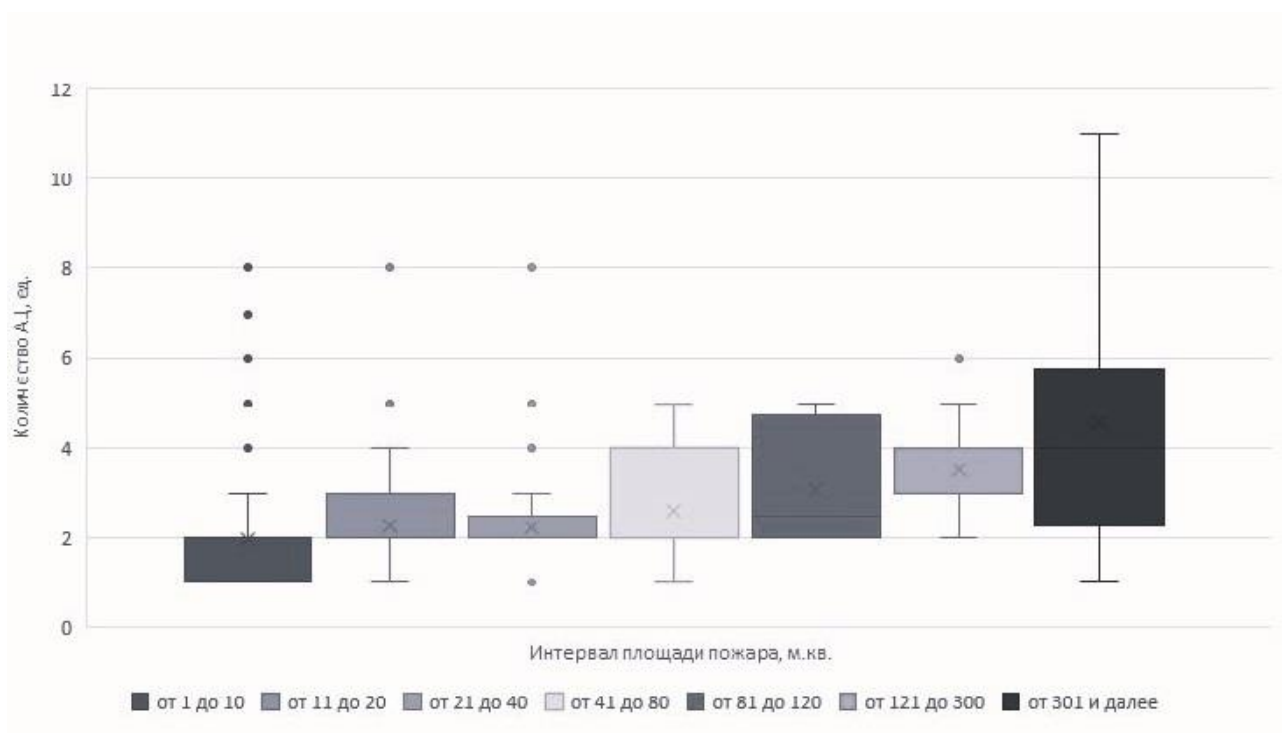


Рис. 3. Математическая диаграмма интервалов площадей пожаров, в зависимости от количества привлекаемых АЦ

Таблица 2. Зависимость площади пожара от количества привлекаемой техники

Группы S_n , м ²	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
от 1 до 10	297	587	1,976431	0,92174		
от 11 до 20	92	208	2,26087	0,898232		
от 21 до 40	73	162	2,219178	1,201294		
от 41 до 80	41	106	2,585366	1,24878		
от 81 до 120	12	37	3,083333	1,719697		
от 121 до 300	19	67	3,526316	1,48538		
от 301 и далее	12	55	4,583333	8,44697		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	131,4589	6	21,90982	18,75732	7,25E-20	2,115386
Внутри групп	629,5887	539	1,168068			
Итого	761,0476	545				

Учитывая полученную вероятность достоверности (Р-Значение) нулевой гипотезы значительно ниже предельного значения допустимой ошибки (0,05), нулевая гипотеза не принимается. Значение F-статистики больше критического значения, соответствующего выбранному уровню значимости, дисперсии случайных величин признаются не одинаковыми. Следовательно, различия в средних показателях являются статистически значимыми.

Уровень корреляции между площадью пожара и количеством, привлекаемой техники является «умеренным» (0,361) по качественной шкале Чеддока.

Следующим этапом рассмотрим зависимость между площадью пожара и количеством поданных на тушение стволов, используя аналогичный метод. Диаграмма рассеяния, представленная на рис. 4 свидетельствует о том, что различия между средними арифмети-

ческими показателями площадей и медианами имеются.

Дисперсионный анализ, представленный в табл. 3, подтверждает первоначальный вывод о наличии статистически значимых различий в средних между группами.

Уровень корреляции между площадью пожара и количеством поданных на тушение пожарных стволов является «умеренным» (0,415) по качественной шкале Чеддока, прослеживается прямая корреляционная зависимость, при увеличении площади пожара, количество пожарных стволов, поданных на тушение, увеличивается.

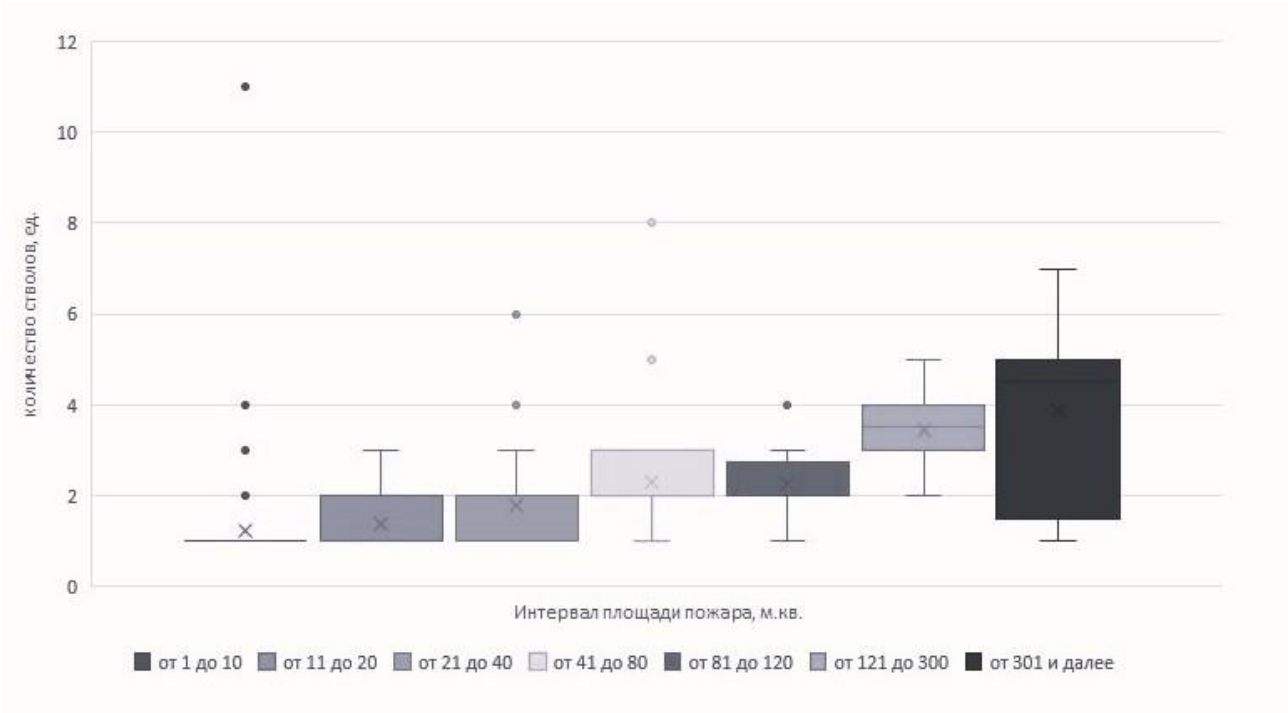


Рис. 4. Диаграмма рассеяния интервала площадей пожаров, в зависимости от количества поданных стволов

Таблица 3. Зависимость площади пожара от количества поданных на тушение пожарных стволов

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
от 1 до 10	271	331	1,221402	0,558207		
от 11 до 20	87	120	1,37931	0,284683		
от 21 до 40	67	119	1,776119	0,691542		
от 41 до 80	39	89	2,282051	1,734143		
от 81 до 120	12	27	2,25	0,568182		
от 121 до 300	16	55	3,4375	0,929167		
от 301 и более	8	31	3,875	4,410714		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	Р-Значение	F критическое
Между группами	162,2316	6	27,03861	39,46128	3,38E-39	2,116959
Внутри групп	337,8004	493	0,685193			
Итого	500,032	499				

Далее исследуем влияние количества привлекаемых для тушения пожара автомобильных цистерн и поданных стволов. Анализ диаграммы рассеяния, представленной на рис. 5, и результатов дисперсионного анализа табл. 4, показывает, что статистически значимые различия в средних имеются. Однофакторный дисперсионный анализ массива обрабатываемых данных, учитывающий количество привлекаемых для тушения пожара автомобильных цистерн и количество поданных на тушение стволов, приведен в табл. 4.

Учитывая, что значение F-статистики менее критического значения, соответствующего

выбранному уровню значимости, дисперсии случайных величин признаются одинаковыми. Подтверждается нулевая гипотеза об отсутствии различий в средних показателях.

Далее в табл. 5 и 6 приведем некоторые показатели, полученные в результате исследования, с целью их сравнения и анализа [6]. В табл. 6 «Расхождение использования пожарных стволов в теории и практике» сведем данные полученные ранее по тексту и сопоставим с данными по вывозимым на автомобильных цистернах пожарным стволам и их техническим характеристикам, касающимся площади тушения.

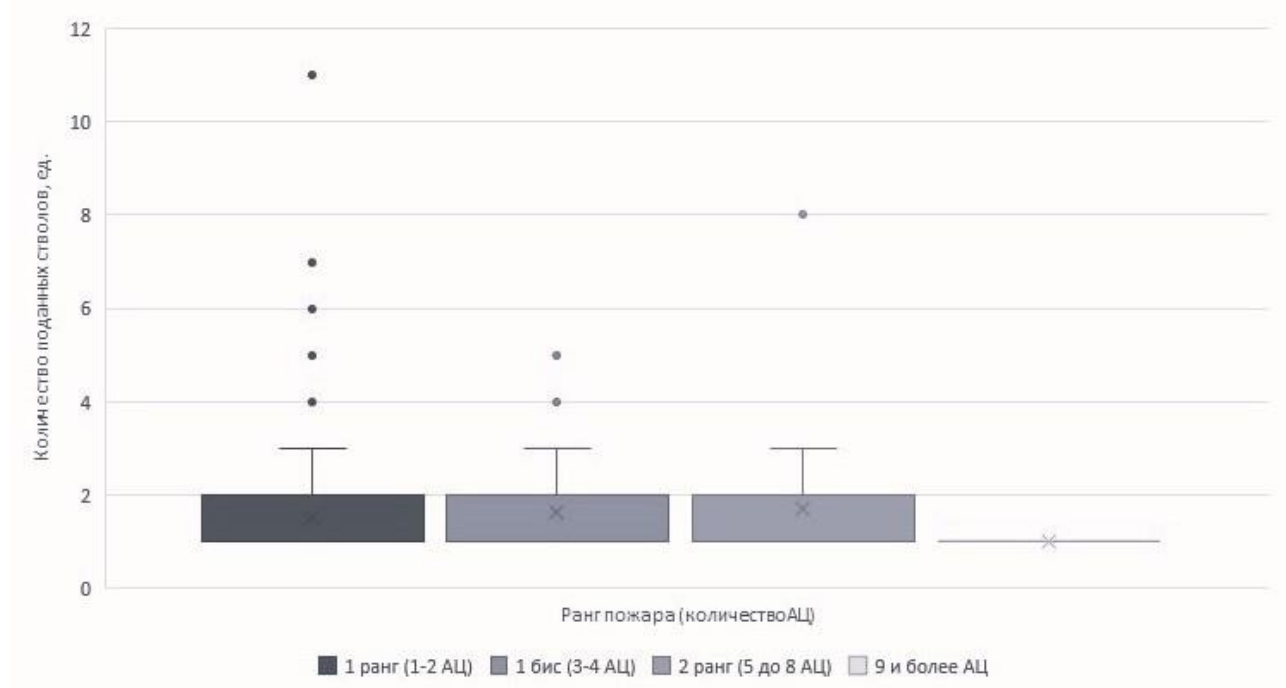


Рис. 5. Диаграмма рассеяния интервала площадей пожаров, в зависимости от количества поданных стволов

Таблица 4. Зависимость привлекаемой пожарной техники от количества поданных стволов

Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
1 ранг (1–2 АЦ)	377	580	1,538462	1,052373		
1 бис (3–4 АЦ)	124	201	1,620968	0,692565		
2 ранг (5 до 8 АЦ)	21	36	1,714286	2,414286		
9 и более АЦ	2	2	1	0		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	1,75825	3	0,586083	0,575934	0,631037	2,622046
Внутри групп	529,1635	520	1,017622			
Итого	530,9218	523				

Таблица 5. Зависимость ранга пожара и количества поданных пожарных стволов, зависимость поданных стволов от площади пожара

Ранг пожара	Среднее количество пожарных стволов, шт	Площадь пожара, м ²	Среднее количество пожарных стволов
1 ранг (1-2 АЦ)	1,538462	от 1 до 10	1,221402
1 бис (3-4 АЦ)	1,620968	от 11 до 20	1,37931
2 ранг (5 до 8 АЦ)	1,714286	от 21 до 40	1,776119
9 и более АЦ	1	от 41 до 80	2,282051
		от 81 до 120	2,25
		от 121 до 300	3,4375
		от 301 и более	3,875

Таблица 6. Расхождение использования пожарных стволов в теории и практике

Площадь пожара, м ²	Количество АЦ	Методическое применение ручных пожарных стволов исходя из тактических возможностей отделения	Практическое использование пожарных стволов	Вывод (несоответствие)
от 1 до 20	2,07145	6	1,3121	4 и более
от 21 до 40	2,219178	6	1,776119	4 и более
от 41 до 80	2,585366	6 и более	2,282051	3 и более
от 81 до 120	3,083333	9	2,25	6 и более
от 121 до 300	3,526316	9 и более	3,4375	5 и более
От 301 до более	4,583333	12 и более	3,875	8 и более

Цель настоящего исследования достигнута — анализ накопленных статистических данных показал зависимости между практическим применением пожарной техники, пожарно-технического вооружения и расчетных данных предлагаемых теорией тактики пожаротушения, через исследование площадей пожаров на объектах энергетики. В дальнейшем специалистам в данной области необходимо изучить более широкий круг факторов, влияющих на практическое состояние дел при тушении пожаров, особенно с учетом требований по электробезопасности и оборудованию автоматическими установками пожаротушения.

Таким образом, проведенное исследование указывает на строгое соблюдение требований нормативных документов (документов предварительного планирования тушения пожаров на объектах энергетики) должностными лицами пожарно-спасательных гарнизонов. Это приводит к ситуациям, когда технические и тактические возможности пожарных автоцистерн используются не в полной мере. Регулярно допускается расхождение в применении пожарных стволов на 4 и более единиц в сравнении теории пожаротушения и данных, полученных в результате практических действий пожарных подразделений. Дополнительным выводом исследования, относящимся к области тактики является подтвержденный факт того, что должностные лица гарнизонов в ред-

ких случаях создают штабы пожаротушения, что приводит к низкому качеству в сборе, обработке, анализе данных на пожаре, а также неверному определению потребностей в силах и средствах. Теоретическая и нормативная базы, применяемые в настоящее время, не оказывают прямого воздействия на эффективное тушение пожаров с практической точки зрения.

Наиболее вероятными предложениями по совершенствованию деятельности в области пожаротушения, является создание условий для применения и разработки технических средств пожаротушения сходных по тактико-техническим характеристикам с наиболее часто встречающимися ситуациями при тушении пожаров на объектах энергетики. Следовательно, в целях совершенствования уровня пожарной безопасности объектов энергетики необходимо: пересмотреть действующие нормативно-правовые акты, касающиеся предварительного планирования действий пожарных подразделений; обеспечить поставку в реагирующие подразделения пожарной техники способной обеспечить безопасную и оперативную подачу огнетушащих веществ для локализации пожаров; создать условия для обучения личного состава по эффективному применению данной пожарной техники; пересмотреть требования к созданию штабов пожаротушения.

Результаты проведенного исследования согласуются с проводимой государственной политикой в области пожарной безопасности, направленной на оптимизацию имеющихся сил и средств пожарной охраны, и демонстрируют целесообразность последующих изысканий по оценке эффективности применяемых технологий использования пожарной техники и пожарно-технического вооружения

Список литературы

1. Большая российская энциклопедия 2004–2017. <https://old.bigenc.ru/>
2. Ищенко А. Д. Теория локализации пожаров в зданиях объектов энергетики: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.26.03. М., 2020. С. 58–61.
3. Алешков М. В., Пушкин Д. С., Колбасин А. А. Особенности развития и тушения пожаров на объектах электроэнергетики // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2010. № 3 (31). <http://ipb.mos.ru/ttb>
4. Рукин М. В. Пожарная безопасность объектов энергоснабжения // Сборник статей ведущих специалистов рынка систем безопасности. 1-е изд. 2014. С. 56–67. <https://www.egida-ross.ru/tekhpodderzhka/biblioteka-spetsialista/item/231-158-sbornik-statej-2014-vedushchikh-spetsialistov-rynka-vzryvozaschishchennykh-sistembezopasnosti>
5. Молодоженцев П. В. Ищенко А. Д. Тушение пожаров на объектах энергетики в начальной стадии // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2023. № 12. С. 58–63. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293830/4293830732.htm>
6. Иванников В. П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.

References

1. *Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya 2004–2017* [The Great Russian Encyclopedia 2004–2017]. <https://old.bigenc.ru/>

Молодоженцев Павел Владимирович

Федеральное государственное казенное учреждение «Специальное управление ФПС № 10 Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»,
Российская Федерация, Челябинская область, г. Трехгорный
Начальник управления
E-mail: ugps60kvr@yandex.ru

для локализации пожаров на объектах энергетики. Практическое применение результатов данного исследования позволит увеличить зону обслуживания, создать достаточный резерв сил и средств пожарных гарнизонов не увеличивая численность, повысить уровень пожарной безопасности отдельных местностей на территории Российской Федерации.

2. Ishchenko A. D. Teoriya lokalizatsii pozharov v zdaniyakh ob»yektov energetiki. Diss. d-ra. tekhn. nauk [The theory of localization of fires in buildings of energy facilities. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2020. Pp. 58–61.
3. Aleshkov M. V., Pushkin D. S., Kolbasin A. A. Osobennosti razvitiya i tusheniya pozharov na ob»yektakh elektroenergetiki [Features of the development and extinguishing of fires at electric power facilities]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti: Internetzhurnal*, 2010, vol. 3 (31). <http://ipb.mos.ru/ttb>
4. Rukin M. V. Pozharnaya bezopasnost' ob»yektov energosnabzheniya [Fire safety of power supply facilities]. *Sbornik statey vedushchikh spetsialistov rynka sistem bezopasnosti*, 1-ye izd., 2014, pp. 56–67. <https://www.egida-ross.ru/tekhpodderzhka/biblioteka-spetsialista/item/231-158-sbornik-statej-2014-vedushchikh-spetsialistov-rynka-vzryvozaschishchennykh-sistembezopasnost>
5. Molodozhentsev P. V. Ishchenko A. D. Tusheniye pozharov na ob»yektakh energetiki v nachal'noy stadii [Extinguishing fires at energy facilities in the initial stage]. *Problemy tekhnosfernoy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchonykh i spetsialistov*, 2023, issue 12, pp. 58–63. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293830/4293830732.htm>
6. Ivannikov V. P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Handbook of the head of fire extinguishing]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 288 p.

Molodozhentsev Pavel Vladimirovich

Federal State State Institution «Special FPS Department No. 10 of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Chelyabinsk region, Trekhgornyy
Head of Department
E-mail: ugps60kvr@yandex.ru

Ищенко Андрей Дмитриевич

Академия ГПС Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий,
Российская Федерация, Москва
Доктор технических наук, профессор
E-mail: adinko@mail.ru

Ishchenko Andrey Dmitrievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Academy of GPS of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Russian Federation»,
Russian Federation, Moscow
Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: adinko@mail.ru

УДК 630.432

ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ

А. О. СЕМЕНОВ, Д. В. КАЛАШНИКОВ, А. Д. СЕМЕНОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: kalashnikovdv33@gmail.com

На тушение природных пожаров оказывает влияние трудно прогнозируемый характер распространения горения на больших площадях. Развитие природного пожара напрямую связано с погодными условиями, рельефом местности, скоростью перемещения воздушных потоков. Все это влияет на увеличение площади горения за минимальный промежуток времени. Конечный результат эффективного тушения пожара напрямую взаимосвязан с оперативными действиями должностных лиц на начальных этапах. Раннее реагирование на природный пожар и привлечение необходимого количества сил и средств влияет на сокращение времени ликвидации пожара. Целью данной работы является разработка алгоритмов действий для должностных лиц на начальных этапах тушения природного пожара с использованием результатов мониторинга. Основными использованными в исследовании методами являются анализ и синтез информации. Актуальность исследования определяется приоритетным направлением в Российской Федерации по существенному сокращению площади лесных пожаров. В работе представлены алгоритмы действий для должностных лиц и рекомендации по привлечению соответствующих подразделений к месту пожара. Результаты представленной работы могут быть применены в практической деятельности должностных лиц по решению задач в области рационального сосредоточения сил и средств на начальных этапах тушения природного пожара.

Ключевые слова: мониторинг природных пожаров, силы и средства тушения пожаров, алгоритм действий диспетчера, сводный план тушения, оперативная группа.

FEATURES OF EXTINGUISHING WILDFIRES IN THE INITIAL STAGES

A. O. SEMENOV, D. V. KALASHNIKOV, 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: kalashnikovdv33@gmail.com

The extinguishing of wildfires is influenced by the difficult-to-predict nature of the spread of combustion over large areas. The development of a natural fire is directly related to weather conditions, terrain, and the speed of movement of air flows. All this affects the increase in the burning area in a minimum period of time. The end result of effective fire extinguishing is directly interrelated with the operational actions of officials at the initial stages. Early response to a natural fire and the involvement of the necessary amount of forces and resources affects the reduction of the time of fire elimination. The purpose of this work is to develop algorithms of actions for officials at the initial stages of extinguishing a natural fire using monitoring results. The main methods used in the study are the analysis and synthesis of information. The relevance of the study is determined by the priority direction in the Russian Federation to significantly reduce the area of forest fires. The paper presents algorithms of actions for officials and recommendations for involving relevant departments to the fire site. The results of the presented work can be applied in the practical activities of officials in solving problems in the field of rational concentration of forces and means at the initial stages of extinguishing a natural fire.

Key words: monitoring of wildfires, forces and means of extinguishing fires, the algorithm of the dispatcher's actions, a consolidated extinguishing plan, an operational group.

Введение

Важным элементом тушения природных пожаров на начальных этапах является проведение мониторинга. Средства мониторинга позволяют определить динамические параметры природного пожара и условия оперативной обстановки в реальном времени [1, 2].

Каждая территория лесного пространства должна подвергаться достоверной оценке пожарной опасности в режиме реального времени, которая направлена на достижение своевременного обнаружения и тушения лесных пожаров [3, 4].

Мониторинг как действие подразумевает под собой комплекс мероприятий по обнаружению и фиксации допожарной и пожарной обстановки на ландшафтных территориях. Современные средства позволяют заблаговременно обнаруживать проявления пожара. Для этого используются инновационные технологии в космической и авиационной отраслях. Сигналы поступают в центры обработки данных, где должностными лицами анализируется эта информация в полном объеме, и выполняются действия по направлению сил и средств (далее — СиС) на тушение пожара. Вместе с тем, стоит отметить, что данные мониторинга очень важны не только на этапе оперативного реагирования пожарных подразделений, но и на момент сосредоточения их на месте пожара. Таким образом, диспетчеры, занимаясь оперативной передачей информации и координации действий СиС, должны принимать соответствующее решение по оценке достаточности количества сил и средств, находящихся на месте пожара, с учетом динамических параметров пожара.

Основная часть

Тушение представляет собой действия, направленные на спасение людей, имущества и ликвидацию пожаров. Систематизация определенных действий по тушению закреплена конкретными этапами по выполнению боевой задачи. Итог каждого из этапов влияет на эффективные результаты тушения природного пожара [5].

Под начальным этапом тушения пожара, в данной работе, подразумевается период от момента приема сообщения о пожаре до момента разведки. Рассматриваемый нами начальный этап обеспечивает достижение конечных целей по тушению природных пожаров на самом первом уровне после получения сообщения о возгорании через своевременное реагирование СиС.

Таким образом, начальный этап во многом предопределяет успешность дальнейшего тушения, которое в большой степени за-

висит от оперативного реагирования подразделений и эффективного использования всех возможных инструментов по определению точного места очага пожара и прогноза распространения горения.

На начальном этапе важным является определение границ возникшего природного пожара, уточнение необходимого количества СиС для тушения, оценка разработанных критериев по обеспеченности необходимыми ресурсами. При этом составляется подробное описание пожара. На данном этапе важно применение современных инструментальных средств мониторинга, направленных на слежение за развитием пожара.

Одной из основных задач группировки пожаротушения при выезде и следовании на пожар является прибытие к месту вызова в максимально короткий срок, чтобы ликвидировать пожар в начальной стадии его развития. Соответственно любая оптимизация действий, направленная на сокращение времени реагирования, напрямую влияет на эффективность ликвидации пожара.

Первым действием для диспетчера является установление первоначальной информации о пожаре. Эта информация уточняется непосредственно от заявителя об объекте природного пожара, основных признаках и условиях распространения горения. Через средства мониторинга важным является установление площади пожара, координат термической аномалии, основных горючих компонентов, направленности распространения, наличие вблизи населенных пунктов.

Вторым действием является направление к месту пожара оперативной группы (далее — ОГ) с целью разведки обстановки. Группа выясняет всю оперативную обстановку: подтверждение адреса места пожара (координат), вид горения, свойства горючих материалов, пути подъезда к месту происшествия, наличие угроз для населенных пунктов, направление распространения горения. Поэтому чем раньше диспетчер получит информацию от лиц оперативной группы, тем быстрее будет обработана данная информация.

Цель и методы исследования

Целью работы является разработка алгоритмов действий для должностных лиц на начальных этапах тушения природного пожара с использованием результатов мониторинга. Основными использованными в исследовании методами являются анализ и синтез информации.

В качестве должностных лиц в работе рассмотрены должности диспетчера и руководителя оперативной группы. При этом стоит отметить, что в исследовании выбраны долж-

ности по универсальному признаку и их полномочия могут быть реализованы в различных государственных структурах (например, региональная диспетчерская служба лесного хозяйства, либо центр управления в кризисных ситуациях МЧС России и т.д.).

Под диспетчером понимается должностное лицо, в обязанности которого входит прием, обработка сообщения о пожаре и направление сил и средств. Он отвечает за координацию действий в области реагирования на природные пожары. Основная его задача заключается в структуризации, отработки и передачи оперативной информации¹.

Оперативная группа предназначена для реагирования по подтверждению выявленных очагов природных пожаров (термических точек). В случае подтверждения термической точки как пожар, лица оперативной группы проводят обследование пожарной обстановки с определением площади горения, направления и скорости распространения огня².

Результаты исследований

Анализ действий должностных лиц, рассматриваемых в данной работе, применяющих результаты мониторинга на начальных этапах тушения природного пожара, позволяет создать алгоритм, который напрямую связан с тактикой действий диспетчера на начальном этапе сообщения о природном пожаре [6, 7].

Далее представлены алгоритмы, описывающие действия диспетчера по получению, обработке информации о природном пожаре и направлению соответствующих СиС (см. рис. 1, 2). За основу был взят перечень действий из сводного плана тушения лесных пожаров. Сводный план разрабатывается для достижения, в частности, следующей цели — повышение эффективности привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны и аварийно-спасательных формирований для тушения лесных пожаров³.

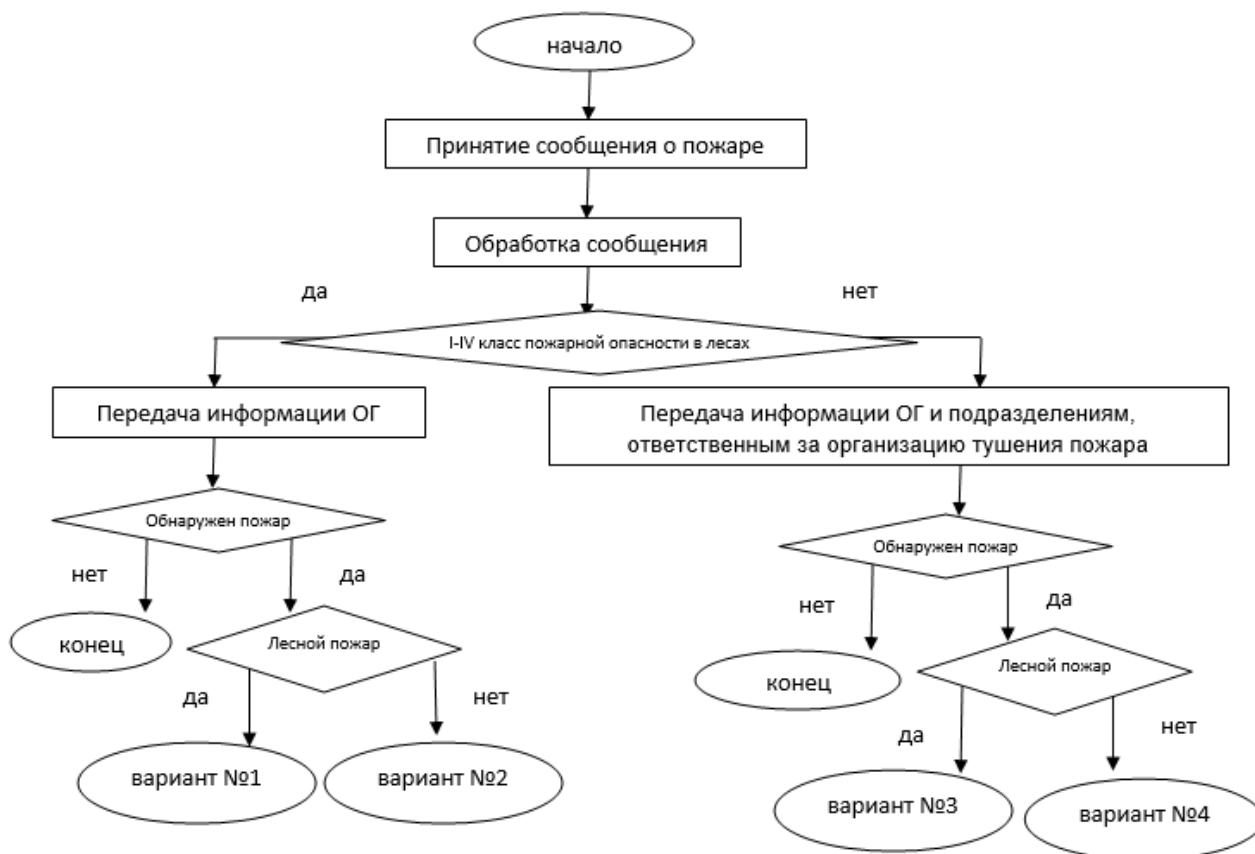


Рис. 1. Алгоритм действий диспетчера по привлечению соответствующих СиС

¹ Энциклопедия «Пожарная безопасность», ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2019.

² «Методические рекомендации по организации работы органов управления РСЧС в пожароопасный сезон» (утв. МЧС России 20.06.2015).

³ Постановление Правительства РФ от 18.05.2011 № 378 «Об утверждении Правил разработки сводного плана тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации».

В блок-схеме «Условие» в случаях, когда пожар не обнаружен, под окончанием действий подразумевается подготовка соответствующей документации по проверке сообщения о пожаре. В завершении алгоритма представлено несколько вариантов рекомендаций диспетчеру по привлечению СиС на место пожара, исходя из полученной информации о сложившейся пожарной обстановке. Образцы рекомендаций представлены в таблице.

Рассмотренные действия позволят осуществлять контроль пожарной обстановки с целью передачи информации заинтересованным лицам и подразделениям, а также обеспечить возможность получать оперативную информацию об особенностях проведения разведки пожара до момента прибытия основных пожарных формирований, контроля их действий, доклада руководству о проводимых работах на месте пожара и подготовки донесений.

Данные рекомендации позволяют определить качественный состав сил и

средств для привлечения к тушению природного пожара.

С учетом поступающей оперативной информации на рис. 2 представлен алгоритм действий диспетчера с учетом информации мониторинга.

В завершении алгоритма диспетчером осуществляется подготовка соответствующей документации по прибытию СиС на начальных этапах тушения пожара.

Многостадийность алгоритма позволяет привлекать необходимое количество СиС, с учетом изменяющейся оперативной обстановки.

Таким образом, алгоритм действий диспетчера с учетом информации мониторинга показывает значимость наблюдения за динамическими параметрами пожара. Соответственно данный инструмент напрямую влияет на сосредоточение СиС на начальных этапах тушения пожара. С помощью мониторинга есть возможность сокращения времени принятия решений по привлечению на место пожара необходимого количества сил и средств.

Таблица. Образец рекомендаций диспетчеру по привлечению СиС

Наименование документа	Сообщение подразделениям (лицам), ответственным за организацию тушения пожара	Сообщение подразделениям, привлекаемым к тушению пожара
вариант № 1	– руководство Комитета по лесному хозяйству; – руководство АГУ «Центр по охране лесов»; – администрация (глава) муниципального образования; – руководство ОГКУ лесничеств	– лесопожарные формирования АГУ «Центр по охране лесов» и ОГКУ лесничеств; – арендаторы лесных участков
вариант № 2	– руководство ГУ МЧС России	– подразделения пожарной охраны и аварийно-спасательные формирования МЧС России; – ОГКУ «Управление по обеспечению ЗН и ПБ»
вариант № 3	– руководство Комитета по лесному хозяйству; – руководство АГУ «Центр по охране лесов» по субъекту; – администрация (глава) муниципального образования; – руководство ОГКУ лесничеств; – руководство ГУ МЧС России	– лесопожарные формирования АГУ «Центр по охране лесов» и ОГКУ лесничеств; – арендаторы лесных участков; – подразделения пожарной охраны и аварийно-спасательные формирования МЧС России; – ОГКУ «Управление по обеспечению ЗН и ПБ»; – иные организации, СиС которых могут быть привлечены по борьбе с лесными пожарами; – добровольная пожарная дружина
вариант № 4	– руководство ГУ МЧС России	– подразделения пожарной охраны и аварийно-спасательные формирования МЧС России; – ОГКУ «Управление по обеспечению ЗН и ПБ»

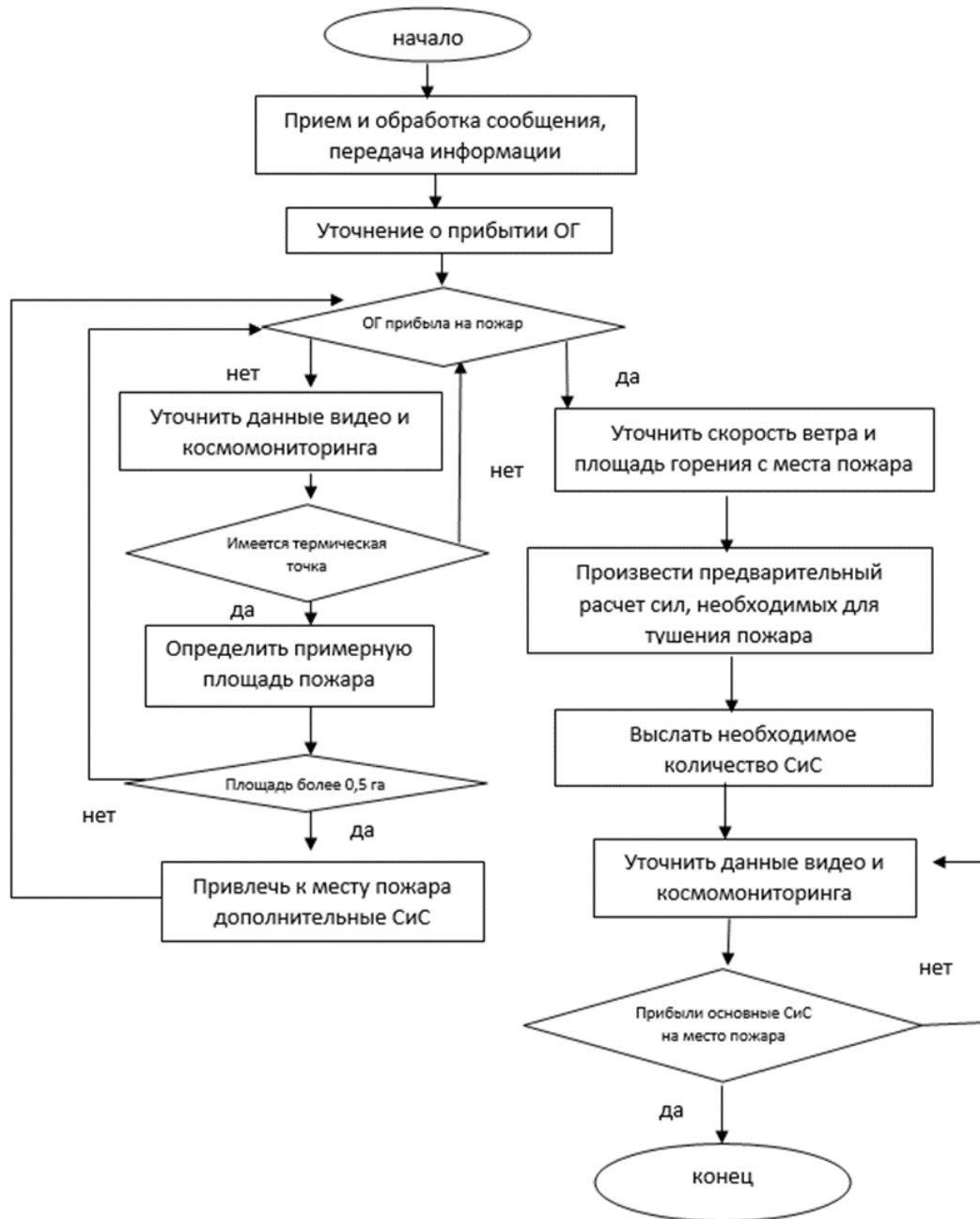


Рис. 2. Алгоритм действий диспетчера с учетом информации мониторинга

Далее проведем оценку действий руководителя оперативной группы в момент прибытия на место пожара. Важным является проведение разведки с определением размеров площади горения, ее конфигурации и вида пожара. В обязательном порядке необходимо определить погодные условия, тип лесных горючих материалов, особенности лесного массива, рельеф местности, структуру почв, природные барьеры, пути подъезда к пожару, потенциальную возможность угрозы распространения фронта на населенные пункты и т.д. Все эти данные важно передать диспетчеру для

принятия решения о направлении к месту пожара СиС. Для получения первичных данных по пожару необходимо использовать технические средства мониторинга. Наиболее эффективным будет применение беспилотных летательных аппаратов, которые обеспечат наибольшую зону обхвата территории для осмотра и возможность постоянного наблюдения за пожаром.

Авторами, на рис. 3, представлен алгоритм действий руководителя оперативной группы после прибытия на место пожара.

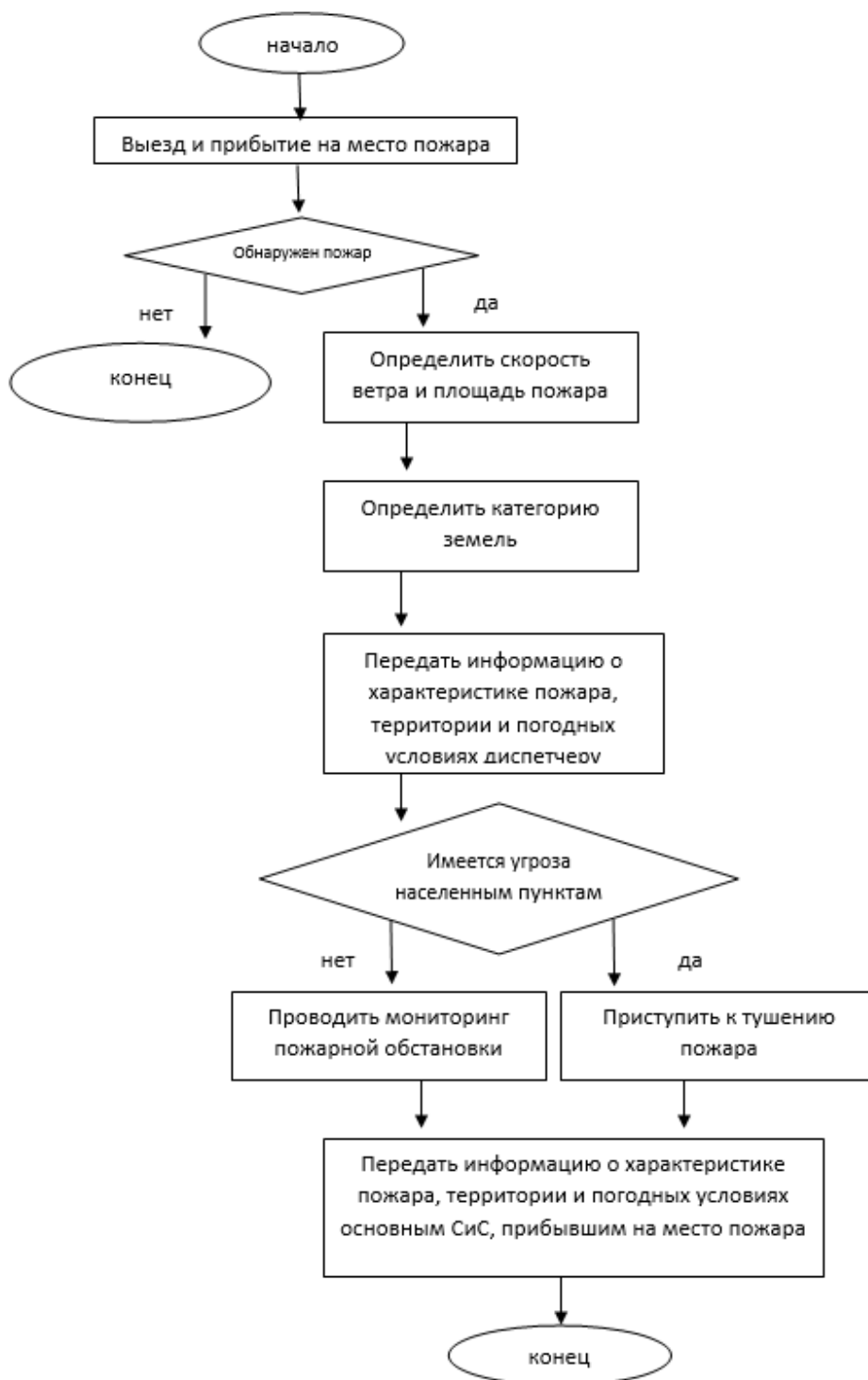


Рис. 3. Алгоритм действий руководителя оперативной группы на начальных этапах тушения пожара

На этапе блок-схемы «Конец», когда пожар не обнаружен, под окончанием действий подразумевается возвращение оперативной группы на место постоянной дислокации. В завершении алгоритма, после передачи оперативной информации основным СИС, прибывшим на место пожара, оперативная группа

далее ожидает уточнение дальнейшего порядка действий.

Данный алгоритм обеспечивает систематизацию действий для руководителя оперативной группы. Поэтапное выполнение алгоритма позволит собрать всю необходимую оперативную характеристику пожара.

В методы мониторинга должны быть включены возможности программных комплексов, которые эффективно справляются со сбором, обработкой и анализом всех необходимых оперативных данных пожара от различных информационных источников. Программы должны быть предназначены для аналитической обработки вводимых оператором данных об обстановке на месте пожара [8, 9, 10].

Заключение

Начальный этап тушения пожара — это один из основополагающих периодов, на котором происходит определение оперативной обстановки на месте пожара с целью установления его динамических параметров. Основным принципом данного этапа является оперативность мероприятий, которая позволит составить наиболее эффективный план тушения пожара.

В данной статье представлены результаты исследований по анализу взаимосвязи проведения мониторинга на начальных этапах тушения пожара с действиями должностных лиц (диспетчера и руководителя оперативной группы) по реагированию на сообщение о по-

жаре. Показана значимость раннего реагирования на природный пожар и привлечения необходимого количества сил и средств для достижения сокращения сроков по ликвидации горения.

Разработаны алгоритмы действий для должностных лиц (диспетчера и руководителя оперативной группы) на начальных этапах тушения природного пожара с использованием результатов мониторинга. Также приведены образцы рекомендаций диспетчеру по порядку привлечения соответствующих подразделений к месту пожара. Соблюдение последовательных этапов алгоритма действий должностных лиц на начальном этапе тушения пожара обеспечивает планомерное получение объективной информации с места пожара, направленной на сокращение временных параметров ликвидации горения. Посредством выполнения алгоритма представляется возможность оценки привлечения необходимого количества СИС в зону подтвержденного пожара, что позволит решить задачу в практической деятельности по сосредоточению на месте пожара необходимого количества личного состава и техники.

Список литературы

1. Калашников Д. В., Семенов А. О. Оценка степени пожарной опасности в лесах при мониторинге природных пожаров, // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 1050–1054. EDN: HAEHHV.

2. Апарин А. А., Семенов А. О. Разработка модели управления размещением систем видеонаблюдения в пожарно-спасательном гарнизоне // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 5–10. EDN: QWZVXT.

3. Калашников Д. В., Семенов А. О. Об организации охраны лесов от пожаров на территории Ивановской области // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 89–94. EDN: SMHIUU.

4. Шапошников А. С., Лэхов О. В. Организация деятельности отдела мониторинга и прогнозирования ЧС ЦУКС ГО МЧС России по Владимирской области // Технологии технологической безопасности. 2013. № 5 (51). С. 17. EDN: SCCQBF.

5. Терехнев В. В., Подгрушный А. В. Пожарная тактика Основы тушения пожаров: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 322 с.

6. Алгоритм действия операторов «Системы-112» при получении сообщения о происшествии / С. А. Качанов, С. В. Агеев, О. Б. Ковтун [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9, № 3 (33). С. 12–21. EDN: PBRHGD.

7. Семенов А. О., Баканов М. О., Тараканов Д. В. Модели мониторинга и управления при ликвидации крупных пожаров: монография. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. 128 с. EDN: POWHSX.

8. Калашников Д. В., Семенов А. О. Особенности использования программных комплексов при мониторинге пожаров на открытых территориях // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». М.: Академия государственной противопожарной службы, 2023. № 32. С. 86–90. EDN: WNRHQH.

9. Тараканов Д. В., Семенов А. О., Апарин А. А. Модели мониторинга пожаров на открытых территориях: монография. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. 103 с. EDN: RHLPZC.

10. Апарин А. А. Применение видеомониторинга для информационной поддержки принятия управленческих решений при реаги-

ровании на техногенный пожар // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 5–11. EDN: AONIIM.

References

1. Kalashnikov D. V., Semenov A. O. Otsenka stepeni pozharnoy opasnosti v lesakh pri monitoringe prirodnkh pozharov [Assessment of the degree of fire danger in forests during monitoring of natural fires]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. 1050–1054. EDN: HAEHHV.

2. Aparin A. A., Semenov A. O. Razrabotka modeli upravleniya razmeshcheniyem sistem videonablyudeniya v pozharno-spasatel'nom garнизоне [Development of a management model for the placement of video surveillance systems in a fire and rescue garrison]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 5–10. EDN: QWZVXT.

3. Kalashnikov D. V., Semenov A. O. Ob organizatsii okhrany lesov ot pozharov na territorii Ivanovskoy oblasti [On the organization of forest protection from fires in the territory of the Ivanovo region]. *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii: materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh*. Moscow: Akademiya Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby, 2024. pp. 89–94. EDN: SMHIUU.

4. Shaposhnikov A. S., Lekhov O. V. [Organization of the activities of the Department of Emergency monitoring and forecasting of the CCS of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation in the Vladimir region], 2013, vol. 5 (51), p. 17. EDN: SCCQBF.

5. Terebnev V. V., Podgrushny A. V. *Pozharnaya taktika Osnovy tusheniya pozharov: uchebnoye posobiye* [Fire tactics: The basics of

extinguishing fires: training manual]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012. 322 p.

6. Algoritm deystviya operatorov «Sistemy-112» pri poluchenii soobshcheniya o proisshествii [The algorithm of action of the operators of «Sistema-112» upon receipt of an incident message] / S. A. Kachanov, S. V. Ageev, O. B. Kovtun [et al.]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*, 2012, issue 9, vol. 3 (33), pp. 12–21. EDN: PBRHGD.

7. Semenov A. O., Bakanov M. O., Tarakanov D. V. *Modeli monitoringa i upravleniya pri likvidatsii krupnykh pozharov: monografiya* [Models of monitoring and management in the elimination of large fires: monograph]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2018. 128 p. EDN: POWHSX.

8. Kalashnikov D. V., Semenov A. O. Osobennosti ispol'zovaniya programnykh kompleksov pri monitoringe pozharov na otkrytykh territoriyakh [Features of the use of software systems for monitoring fires in open areas]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sistemy bezopasnosti»*. Moscow: Akademiya gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby, 2023. Issue 32, pp. 86–90. EDN: WNRHQH.

9. Tarakanov D. V., Semenov A. O., Aparin A. A. *Modeli monitoringa pozharov na otkrytykh territoriyakh: monografiya* [Models for monitoring fires in open areas: monograph]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. 103 p. EDN: RHLPZC.

10. Aparin A. A. *Primeneniye videomonitoringa dlya informatsionnoy podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy pri reagirovani na tekhnogennyi pozhар* [Application of video monitoring for information support of managerial decision-making in response to a man-made fire]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022. vol. 3 (44), pp. 5–11. EDN: AONIIM.

Семенов Алексей Олегович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент, 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

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ao-semenov@mail.ru

Калашников Дмитрий Владимирович

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

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: kalashnikovdv33@gmail.com

Kalashnikov Dmitry 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

adjunct of post-graduate courses

E-mail: kalashnikovdv33@gmail.com

Семенов Андрей Дмитриевич

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

кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры

E-mail: sad8_3@mail.ru

Semenov Andrey Dmitrievich

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

Russian Federation, Ivanovo

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

E-mail: sad8_3@mail.ru

УДК 667.621.226

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Е. А. СИПЛАТОВ¹, А. Л. НИКИФОРОВ¹, Ю. К. НАГАНОВСКИЙ², К. А. НОВОЖИЛОВА¹

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

² ФГБУ ВНИИПО МЧС России

Российская Федерация, г. Балашиха

E-mail: siplatov82@mail.ru, anikiforoff@list.ru, reut11731@mail.ru, novozhilovax@yandex.ru

Методом термогравиметрического анализа и одностороннего теплового воздействия исследован процесс деструкции и поризации натриевого жидкого стекла и его компонентов при нагревании. Исследования проведены в диапазоне температур 20–600 °С и воздействии теплового потока 5 кВт/см².

Ключевые слова: термогравиметрия, силикаты натрия, жидкое стекло, огнезащита, огнезащитные составы.

THERMOGRAVIMETRIC STUDIES OF LIQUID GLASS IN VARIOUS MEDIA

E. A. SIPLATOV¹, A. L. NIKIFOROV¹, Y. K. NAGANOVSKI², K. A. NOVOZHILOVA¹

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 FSBI VNIPO of EMERCOM of Russia
Russian Federation, Balashikha

E-mail: siplatov82@mail.ru, anikiforoff@list.ru, reut11731@mail.ru, novozhilovax@yandex.ru

The process of porization of sodium liquid glass under heating has been studied by thermogravimetric analysis. The studies were conducted in the temperature range of 20–600 °C.

Key words: thermogravimetry, sodium silicates, liquid glass, fire protection, flame retardants.

Введение

Одним из перспективных направлений в области огнезащиты древесины является разработка огнезащитных составов, позволяющих уменьшить ее пожарную опасность. Разработка новых рецептур огнезащитных средств является одним из актуальных направлений научно-исследовательской деятельности организаций, производящих работы и оказывающих услуги в области обеспечения пожарной безопасности. Большинство огнезащитных покрытий имеют сложный состав и высокую себестоимость, что приводит к ограничению их применения в гражданском строительстве. Использование водного щелочного раствора силиката натрия с добавлением наполнителей, снижающих пожарную опасность древесины и ее производных, позволяет создавать покрытия с ячеистой структурой,

отличающиеся низким коэффициентом теплопроводности, негорючестью и экологичностью при сравнительно низких затратах [5].

В ряде работ [1–8] отмечается, что при нагреве покрытия на основе жидкого стекла теряют влагу (около 30–35 %). Содержащаяся гидратная вода в силикате быстро превращается в пар. Выходу водных паров препятствует вязкость расплавленного натриевого жидкого стекла. При этом, если давление насыщенного пара в глубинных слоях оказывается выше атмосферного давления, происходит вспучивание нанесенного огнезащитного покрытия. Таким образом, главной движущей силой процесса термической поризации является повышение давления паров воды при повышении температуры внутри жидкостекольных композиций [1–8].

Отмечается, что при нагреве силикатного материала, нанесенного на древесину в качестве огнезащиты, в реальных условиях получаемая структура будет неоднородна, вспучивание по поверхности не будет происходить одновременно и равномерно. Кроме того, образующиеся пористые участки структуры еще больше усиливают такую неравномерность, а удаляемая при термообработке влага приводит к размягчению массы и, как следствие, к слиянию пор и увеличению объема

пустот [4–8].

Цель работы: исследование жидкого стекла и его компонентов при нагревании, в том числе в различных газовых средах.

Объекты исследований

В исследованиях методом термогравиметрии использовались компоненты жидкого стекла с характеристиками, приведенными в табл.1.

Таблица 1. Характеристики компонентов жидкого стекла

№ п/п	Наименование	Вид образца	ГОСТ, ТУ	Плотность г/см ³	Силикатный модуль
1	Стекло натриевое жидкое	отвержденный (измельченный, пластина))	ГОСТ 13078-2021	1,4	2,7
2	Силикат натриевый гидратированный (дисиликат натрия)	Порошок	ТУ 20.13.62-003-01775192-2022	0,61*	2,2
3	Силикат натриевый гидратированный (гидросиликат натрия)	Порошок	ТУ 20.13.62-003-01775192-2022	0,66*	3,1

* – насыпная плотность.

Экспериментальная часть

Исследование теплового воздействия на образец с покрытием проводилось по следующей схеме (рис.1).

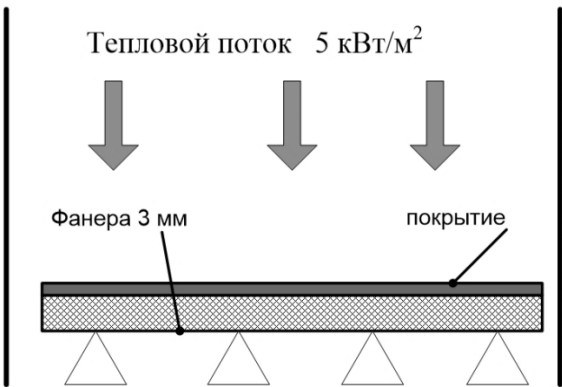


Рис. 1. Схема теплового воздействия на покрытие с подложкой (фанера)

Исследования покрытий на основе ЖС проводилось на образцах фанеры диаметром 80 мм, толщиной 3 мм. Толщина огнезащитного покрытия составляла 1,2±0,3 мм (рис. 2 (а, б).

Результаты

Внешний вид покрытий после теплового воздействия показан на рис. 2 (а, б).

Из приведенных фото видно, что вспучивание покрытия под действием теплового потока происходит по различным механизмам: жидкое стекло вспучивается незначительно, жидкое стекло с добавками может иметь характер вспучивания в виде пустотелой «горки».

При проведении эксперимента, предшествующего термогравиметрическим исследованиям, определены форма и скорость нагревания. На рис. 2 (в) показан вид образца пластины после нагревания отвержденного ЖС.

Термогравиметрический анализ проводился на термовесах ТГА-951, входящих в термоанализатор «Du Pont 9900» (рис. 3) с персональным компьютером и системой подготовки газа носителя, которая позволяла смешивать газы (N₂, CO₂) в различных концентрациях.

При проведении термического анализа использовались рекомендации ГОСТ Р 53293-09 «Идентификация веществ, материалов и средств огнезащиты методами термического анализа», а также работы [9].



Рис. 2. Внешний вид образцов жидкого стекла после нагревания

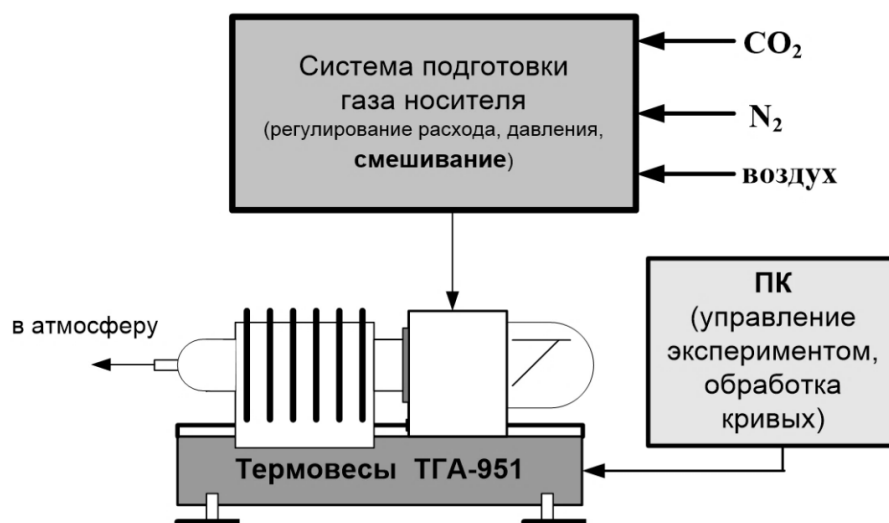


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

В ходе эксперимента были исследованы порошки силикатов, приведенные в табл.1. Термографические исследования проводились в диапазоне температур от 20 до 600 °С при скорости нагрева 5 °С/мин, масса навески исследуемого порошка составляла 10...15 мг.

Результаты термогравиметрических исследований представлены на рис. 4–6.

Из приведенных на рис.4 кривых видно, что в поведении силикатов натрия в процессе термического воздействия проявляются аналогичные зависимости. Начало изменений совпадает с началом нагревания, по достижении 190 °С, остаток теряющего воду силиката со-

ставляет 81...83 % масс. Изменение состава атмосферы приводит к изменениям в ходе ТГ и ДТГ кривых (рис. 5). При 100 % CO₂ происходит смещение процесса деструкции в область высоких температур, в то время как снижение концентрации CO₂ до 40 % — в область низких температур. Сравнение термогравиметрических кривых гидросиликата натрия (порошок) и отверждённого жидкого стекла (порошок) в токе азота представлено на рис. 6. Видим, что деструкция жидкого стекла резко отличается от исходного продукта по скорости удаления воды, о чем можно судить по потере массы при 600 °С – 55 и 19 % соответственно.

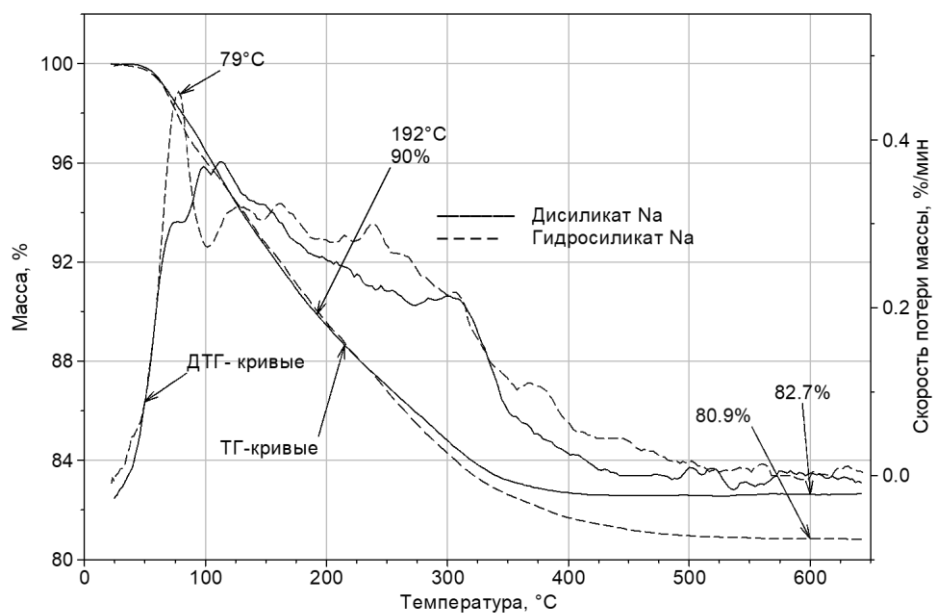


Рис. 4. ТГ и ДТГ кривые гидросиликата и дисиликата Na в токе азота

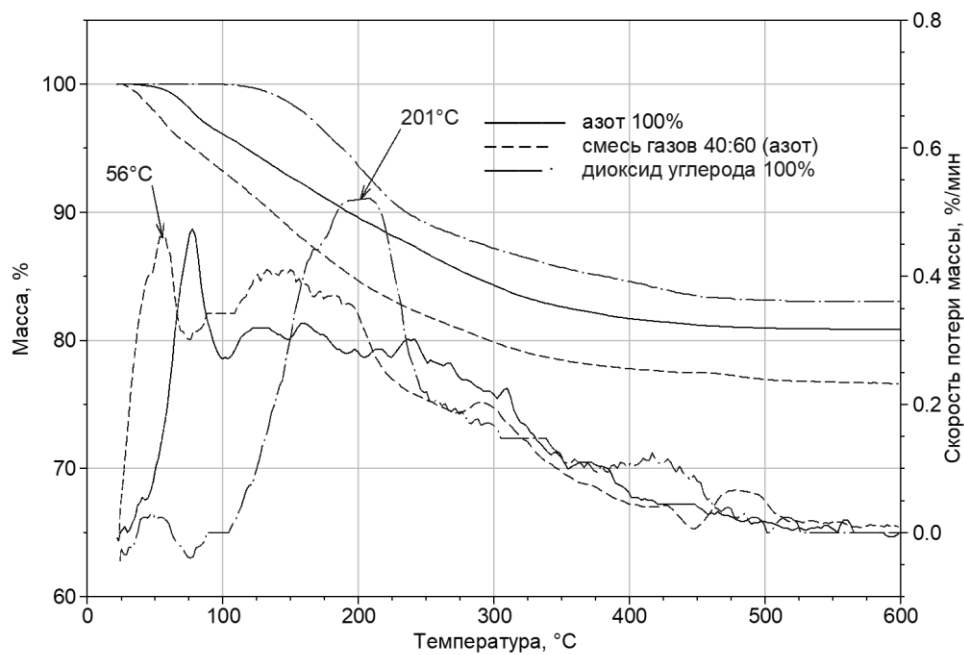


Рис. 5. ТГ и ДТГ кривые гидросиликата Na в токе различных газов

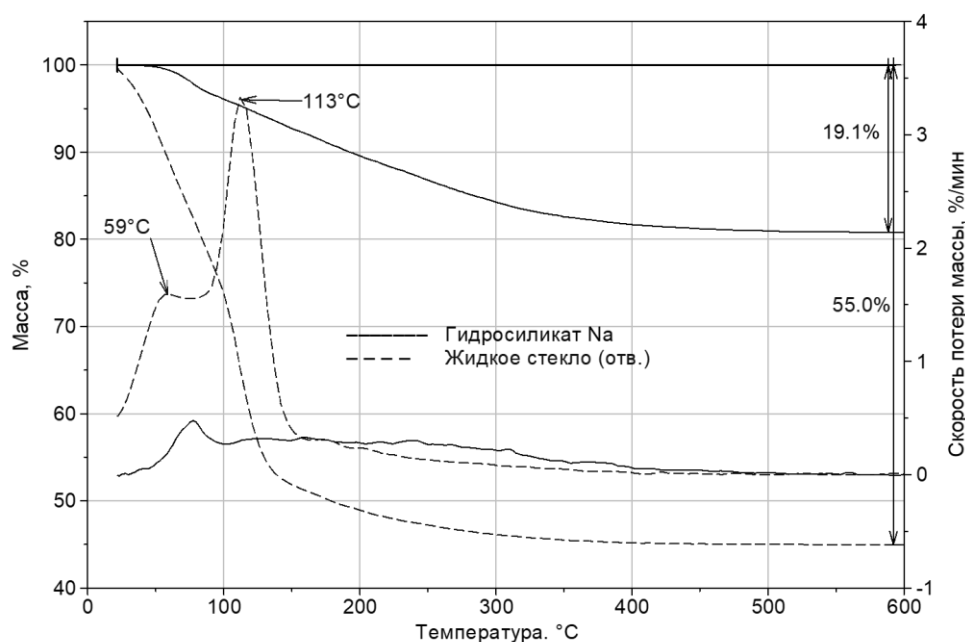


Рис. 6. ТГ и ДТГ кривые гидросиликата Na и жидкого стекла (отв.) в токе азота

Выводы

Проведенные исследования показали, что при составлении рецептуры огнезащитного покрытия необходимо проведение комплекса термоаналитических исследований исходных компонентов силикатов в широком диапазоне изменения условий нагревания: состав среды,

скорость нагревания, форма и состояние навески образца: пленка, дисперсность, твердое или жидкое состояние и т.п.

Полученные при выполнении исследований результаты представляют практический интерес для разработки огнезащитных составов на основе натриевого жидкого стекла.

Список литературы

1. Павлович А. В., Дринберг А. С., Врублевский С. Б. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия для древесины. М.: ООО «Издательство «ЛКМ-пресс», 2022. 416 с.

2. Перспективные вещества для использования в качестве антипиренов для древесины / Н. М. Панев, А. А. Александров, А. А. Воронцова [и др.] // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвященной году Пожарной Охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. С. 145–147.

3. Проблемы разработки огнезащитных составов для древесины и контроля их наличия / Н. М. Панев, А. А. Воронцова, С. Н. Животягина [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. № 2 (23), 2017. С. 5–12.

4. Рыжков И. В., Толстой В. С. Физико-химические основы формирования свойств смеси с жидким стеклом. Харьков: «Вища школа», 1975. С. 139.

5. Кутугин В. А. Управление процессами термической поризации жидкостекляных композиций при получении теплоизоляционных материалов: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11. Томск, 2008. 7 с.

6. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Кайракбаев А. К. Инновационные направления по использованию отходов топливно-энергетического комплекса в производстве теплоизоляционных материалов. Актобе: Казахско-Русский Международный университет, 2015. 276 с. EDN: DCMMOJ.

7. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Кайракбаев А. К. Использование отходов топливно-энергетического комплекса в производстве теплоизоляционных материалов на основе жидкостекляных композиций. Актобе: Казахско-Русский Международный университет, 2016. 140 с. EDN: XWGD AU.

8. Использование жидкостекляной композиции в производстве зернистого теплоизоляционного материала / И. В. Ковков, Д. Ю. Денисов, В. З. Абдрахимов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. № 7 (631). С. 21–26. EDN: OZNFJD.

9. Уэндландт У. У. Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. 526 с.

References

1. Pavlovich A. V., Drinberg A. S., Vrublevskij S. B. *Ognezashchitnye vspuchivayushchiesya pokrytiya dlya drevesiny* [Flame retardant swelling coatings for wood]. Moscow: OOO «Izdatel'stvo «LKM-press», 2022. 416p.

2. Perspektivnye veshchestva dlya ispol'zovaniya v kachestve antipirenov dlya drevesiny [Promising substances for use as flame retardants for wood] / N. M. Panev, A. A. Aleksandrov, A. A. Voroncova [et al.]. *Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'», posvyashchennoj godu Pozharnoj Ohrany Rossii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2016. Pp. 145–147.

3. Problemy razrabotki ognezashchitnyh sostavov dlya drevesiny i kontrolya ih nalichiya [Problems of development of flame retardants for wood and control of their availability] / N. M. Panev, A. A. Voroncova, S. N. Zhivotyagina [et al.]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii*, vol. 2 (23), 2017, pp. 5–12.

4. Ryzhkov I. V., Tolstoj V. S. *Fiziko-himicheskie osnovy formirovaniya svoystv smesi s zhidkim steklom* [Physico-chemical bases for the formation of properties of a mixture with liquid glass]. Har'kov: «Vishcha shkola», 1975. P. 139.

5. Kutugin V. A. Upravlenie processami termicheskoy porizatsii zhidkostekol'nyh kompozitsij pri poluchenii teploizolyacionnyh materialov:

avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Control of thermal porosization processes of liquid glass compositions when producing heat-insulating materials: abstract of cand. tech. sci. diss.]. Tomsk, 2008. 7 p.

6. Abdrahimov V. Z., Abdrahimova E. S., Kajrakbaev A. K. *Innovacionnye napravleniya po ispol'zovaniyu othodov toplivno-energeticheskogo kompleksa v proizvodstve teploizolyacionnyh materialov* [Innovative directions for the use of waste from the fuel and energy complex in the production of thermal insulation materials]. Aktobe: Kazahsko-Russkij Mezhdunarodnyj universitet, 2015. 276 p. EDN: DCMMOJ.

7. Abdrahimov V. Z., Abdrahimova E. S., Kajrakbaev A. K. *Ispol'zovanie othodov toplivno-energeticheskogo kompleksa v proizvodstve teploizolyacionnyh materialov na osnove zhidkostekol'nyh kompozitsij* [The use of waste from the fuel and energy complex in the production of thermal insulation materials based on liquid glass compositions]. Aktobe: Kazahsko-Russkij Mezhdunarodnyj universitet, 2016. 140 p. EDN: XWGDAU.

8. Ispol'zovanie zhidkostekol'noj kompozitsii v proizvodstve zernistogo teploizolyacionnogo materiala [The use of a liquid glass composition in the production of granular thermal insulation material] / I. V. Kovkov, D. Yu. Denisov, V. Z. Abdrahimov [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, 2011, vol. 7 (631), pp. 21–26. EDN: OZNFJD.

9. Uendlandt U. U. *Termicheskie metody analiza* [Thermal analysis methods]. Moscow: Mir, 1978. 526 p.

Сиплатов Евгений Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт заочной формы обучения

E-mail: siplatov82@mail.ru

Siplatov Yevgeniy 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

Postgraduate student

E-mail: siplatov82@mail.ru

Нагановский Юрий Кузьмич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: reut11731@mail.ru;

Naganovskij Yurij Kuzmich

FSBI VNIPO of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
Candidate of Technical Sciences, leading researcher
E-mail: reut11731@mail.ru

Никифоров Александр Леонидович

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

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

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

Новожилова Ксения Александровна

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

Novozhilova Kseniia 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
Senior teacher
E-mail: novozhilovax@yandex.ru

УДК 614.842/847

ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ ТАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

Д. Н. ШАЛЯВИН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: sharap1897@rambler.ru

В статье предложен критерий оценивания реализации тактических задач в процессе выполнения газодымозащитниками повторных работ при тушении крупных и затяжных пожаров. Разработанный критерий одновременно оценивает способность газодымозащитника к выполнению поставленных тактических задач по тушению пожаров или проведению аварийно-спасательных работ, а также возможность защитного действия дыхательного аппарата при выполнении работ в непригодной для дыхания среде. Предложена шкала риска, учитывающая одновременно оба параметра «Возможность» и «Способность». Шкала риска коррелируется с общеизвестной шкалой оценки перцептивных реакций человека «Борга».

Ключевые слова: газодымозащитник, критерий, дыхательный аппарат, шкала риска, шкала «Борга», повторные работы.

ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION OF TACTICAL TASKS OF FIRE DEPARTMENTS IN THE PROCESS OF PERFORMING REPEATED WORK IN EXTINGUISHING LARGE FIRES

D. N. SHALIIVIN

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: sharap1897@rambler.ru

The article proposes a criterion for evaluating the implementation of tactical tasks in the process of performing repeated work by gas and smoke defenders when extinguishing large and protracted fires. The developed criterion simultaneously evaluates the ability of the smoke and gas defender to perform the assigned tactical tasks of extinguishing fires or conducting emergency rescue operations, as well as the possibility of protective action of the breathing apparatus when performing work in an inhospitable environment. A risk scale is proposed that takes into account both the «Opportunity» and «Ability» parameters at the same time. The risk scale correlates with the well-known «Borg» scale for assessing human perceptual reactions.

Key words: gas and smoke protection, criterion, breathing apparatus, risk scale, Borg scale, repeated work.

Введение

Работа пожарных на крупных и затяжных пожарах довольно часто проходит в непригодной для дыхания среде (НДС). Работа в НДС на крупных и затяжных пожарах может быть обусловлена неоднократным (повторным) включением в дыхательный аппарат (ДА), так как время защитного действия ДА не всегда позволяет выполнить поставленную тактическую задачу газодымозащитнику, связанную со

спасением людей или ликвидацией пожара [1]. Время защитного действия ДА зависит от типа дыхательного аппарата и объема баллона со сжатым воздухом. Для успешного выполнения тактических задач при повторных работах на крупных и затяжных пожарах должен быть грамотно спланирован режим труда и отдыха звеньев ГДЗС, с учетом их индивидуальных возможностей (уровень работоспособности) [2].

В настоящее время пожарными при работе в НДС в основном применяются дыхательные аппараты со сжатым воздухом. Время

защитного действия ДА такого типа зависит от объема баллона со сжатым воздухом [1]. Расход воздушной смеси также зависит от степени усталости и уровня психофизической подготовки газодымозащитника, так как эти факторы влияют на частоту дыхания.

Таким образом, при повторных работах на пожарах в ходе планирования действий по тушению пожара необходимо учитывать не только параметры безопасности ДА, но и индивидуальные возможности газодымозащитника [3].

Целью работы является разработка критерия оценивания выполнения повторных работ пожарными, учитывающего способности газодымозащитника, а также возможности защитного действия ДА.

Для решения поставленной цели исследования необходимо решить ряд задач:

1. Разработать нормированный критерий планирования выполнения поставленных

задач при повторных работах газодымозащитников, учитывающий его способность и техническую возможность ДА.

2. Сопоставить полученные результаты расчета критерия по способности газодымозащитника с соответствующими им значениями оценки по модифицированной шкале Борга.

3. Разработать шкалу рисков выполнения поставленных задач по тушению пожаров или проведению аварийно-спасательных работ в комплексе по двум параметрам: по способности газодымозащитника и по возможности защитного действия ДА.

Основная часть

Разработка критерия планирования

Расчет критерия планирования будет производиться по двум параметрам: «Способность», «Возможность». Структура разрабатываемого критерия представлена на рис. 1.

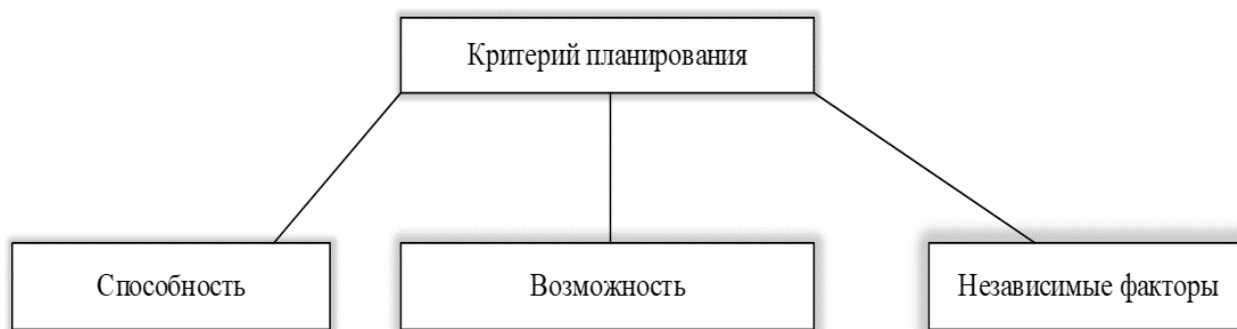


Рис. 1. Структура разрабатываемого критерия

Параметр «Способность» показывает, сможет ли газодымозащитник выполнять поставленную задачу при повторном цикле работ и достаточно ли он восстановился после первого и последующего цикла работ. Параметр «Возможность» показывает, хватит ли газодымозащитнику дыхательных ресурсов в баллоне ДА на все время выполнения поставленных задач.

Независимые факторы подразумевают под собой поломку ДА, плохое самочувствие газодымозащитника, угрозу жизни и здоровью пожарного. При проявлении таких факторов работу начинать запрещено.

Нормированный критерий параметра «Способность» рассчитывается для каждого этапа в отдельности (у нас три этапа) по следующим формулам (1–2):

$$L = \frac{1}{1 + R_{\text{сп}}} \quad (1)$$

$$R_{\text{сп}} = \frac{A_H + B_H + C_H}{A_B + B_B + C_B} \quad (2)$$

где A_H , B_H , C_H – коэффициенты выполнения циклов работ; A_B , B_B , C_B – коэффициенты восстановления после выполнения циклов работ.

Для получения значения данных коэффициентов необходимо рассчитать векторные оценки этапов нагрузки и восстановления. Правила расчета векторных оценок этапов нагрузки и восстановления представлены в табл. 1.

После получения значений векторных оценок, рассчитываются коэффициенты выполнения циклов работ и восстановления после выполнения этапов циклов работ. Условия расчета данных коэффициентов представлены в табл. 2.

Таблица 1. Расчет векторных оценок состояний

Состояние	Исходные данные	Правила расчета векторных оценок состояний ($X_1; X_2; X_3$) ед. вр.
Работа после полного восстановления		
$S_{11}; S_{12}; S_{13}$	$T_P;$ $T_{P(1-2)}=T_P^*;$ $T_{P(2-3)}=T_P^{**}$	Если $T_P \leq T_P^*$, то $X_1=T_P; X_2=0; X_3=0$, Если $T_P > T_P^*$ и $T_P \leq T_P^*+T_P^{**}$, то $X_1=T_P^*; X_2=T_P-T_P^*; X_3=0$, Если $T_P > T_P^*+T_P^{**}$, $X_1=T_P^*; X_2=T_P^{**};$ $X_3=T_P-(T_P^*+T_P^{**})$, где T_P – время работы, X_1, X_2, X_3 – векторные оценки нагрузки.
Работа после частичного восстановления		
$S_{21}; S_{22}$	$T_P;$ $T_{P(2-3)}=T_P^{**}$	Если $T_P \leq T_P^{**}$, то $X_1=0; X_2=T_P; X_3=0$, Если $T_P > T_P^{**}$, то $X_1=0; X_2=T_P^{**}; X_3=T_P-T_P^{**}$.
Работа без восстановления		
S_{31}	T_P	Во всех случаях $X_1=0; X_2=0; X_3=T_P$.
Восстановление после тяжелой работы		
N_{11}	$T_B;$ $T_{B(3-2)}=T_B^{**};$ $T_{B(2-1)}=T_B^*$	Если $T_B \leq T_B^{**}$ $Y_3=T_B$ $Y_2=0; Y_3=0$,
N_{12}		Если $T_B > T_B^{**}$ и $T_B \leq T_B^{**} + T_B^*$; $Y_3=T_B^{**}; Y_2=T_B-T_B^{**}; Y_3=0$,
N_{13}		Если $T_B > T_B^{**} + T_B^*$ $Y_3=T_B^{**}; Y_2=T_B^*; Y_3=T_B-(T_B^{**}+T_B^*)$, где T_B – время восстановления, Y_1, Y_2, Y_3 – векторные оценки восстановления.
Восстановление после нормальной работы		
N_{21}	$T_B;$	Если $T_B \leq T_B^*$, то $Y_3=0; Y_2=T_B; Y_1=0$,
N_{21}	$T_{B(2-1)}=T_B^*$	Если $T_B > T_B^*$, то $Y_3=0; Y_2=T_B^*; Y_1=T_B-T_B^*$.
Восстановление после легкой работы		
N_{13}	T_B	$Y_3=0; Y_2=0; Y_1=T_B$

Таблица 2. Условия расчета критерия планирования по параметру «Способность»

Обозначение	Формула	Минимум	Макс
A_H $T_{P(1-2)}=T_{P^*}$	$A_H=1 \cdot (X_1/T_{P^*})$	>0	1, так как X_1 по условию не может быть больше T^*
B_H $T_{P(2-3)}=T_{P^{**}}$	$B_H=2 \cdot (X_2/T_{P^{**}})$	$=0$	2, так как X_2 по условию не может быть больше T^*
C_H	$C_H=3 \cdot (X_3/(T^{***}))$ $T^{***}=T_{P^*}+2 \cdot (T^{**}-T^*),$ но не более 4х	$=0$	4
A_B $T_{B(3-2)}=T_{B^*}$	$A_B=1 \cdot (Y_1/T_{B^*})$	$=0$	1
B_B $T_{B(2-3)}=T_{B^{**}}$	$B_B=2 \cdot (Y_2/T_{P^{**}})$	$=0$	2
C_B	$C_B=3 \cdot (Y_3/(T^{***}))$ $T^{***}=T_{P^*}+2 \cdot (T^{**}-T^*),$ но не более 4х	>0	4

Коэффициенты выполнения циклов работ при нагрузке и восстановлении выбраны таким образом, чтобы удовлетворять модифицированной (10-й балльной) шкале Борга [4, 5,

6]. Сопоставление результатов расчета критерия L в совокупности с событиями в модели (S-N) и соответствующие им значения оценки по шкале Борга представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сопоставление оценок по критерию L с оценками по шкале Борга

Наименование цикла работ	Буквенно-цифровое обозначение цикла	Оценка цикла по шкале Борга	Оценка цикла по критерию (L)
Легкая работа – полное восстановление	S11 – N31	1-2	0,85
Нормальная работа – полное восстановление	S12 – N22	3-4	0,66
Нормальная работа – частичное восстановление	S12 – N21	5	0,5
Тяжелая работа – полное восстановление	S13 – N13	5	0,5
Тяжелая работа – частичное восстановление	S13 – N12	6–7	0,33
Тяжелая работа – не восстановился	S13 – N11	8–9	0,14
Нормальная работа после частичного восстановления – полное восстановление	S21 – N22	3–4	0,66
Нормальная работа после частичного восстановления – частичное восстановление	S21 – N21	5	0,5
Тяжелая работа после частичного восстановления – полное восстановление	S22 – N13	5	0,5
Тяжелая работа после частичного восстановления – частичное восстановление	S22 – N12	6–7	0,33
Тяжелая работа после частичного восстановления – не восстановился	S22 – N11	8–9	0,14
Тяжелая работа без восстановления – полное восстановление	S31 – N13	5	0,5
Тяжелая работа без восстановления – частично восстановился	S31 – N12	6–7	0,33
Тяжелая работа без восстановления – не восстановился	S31 – N11	8–9	0,14

Нормированный критерий планирования по параметру «Способность» будет показывать при следующих условиях:

$K_R > 0$ и $K_R < 0,5$ числитель больше, чем знаменатель (нагрузка превышает восстановление).

$K_R = 0,5$ числитель равен знаменателю (нагрузка равна восстановлению).

$K_R > 0,5$ и $K_R < 1,0$ числитель меньше, чем знаменатель (нагрузка меньше восстановления).

Расчет нормированного критерия по параметру «Возможность» рассчитывается также для каждого этапа по отдельности по следующим формулам (3–4).

$$L = \frac{1}{1 + W} \quad (3)$$

$$W = \frac{W_{\phi}}{W_0} \quad (4)$$

где W_0 — имеющийся запас ресурса (объем воздуха в баллоне дыхательного аппарата) ед. ресурса; W_{ϕ} — прогнозируемый запас ресурса, который будет израсходован в процессе реализации выбранной схемы повторной работы, ед. ресурса.

Расчет фактического расхода дыхательных ресурсов [7,8] при повторных работах производится по следующей формуле (5).

$$W_{\phi} = G_1 X_1 + G_2 X_2 + G_3 X_3 \quad (5)$$

где G_1, G_2, G_3 — расход дыхательных ресурсов при легкой, средней и тяжелой работе, ед. ресурса, X_1, X_2, X_3 — циклы выполняемых повторных работ.

Для расчета данных критериев разработаны критические значения ресурсов по запасу воздуха на основе требований по запасу воздуха при работе в НДС, которые представлены в табл. 4.

Таблица 4. Критические значения ресурсов по запасу воздуха при работе в НДС

Критерий	Запас ресурса	Коэффициент запаса
0	1 (нет запаса)	0,5
150 %	1,5 (полуторный запас)	0,6
200 %	2 (двойной запас)	0,75

Если коэффициент запаса равен 0,5, то повторная работа в непригодной для дыхания среде будет выполняться без запаса дыхательных ресурсов. Если коэффициент запаса равен 0,6, то работа в НДС будет выполняться с полуторным запасом дыхательных ресурсов. Если коэффициент запаса равен 0,75, то работа газодымозащитников будет выполняться с двойным запасом дыхательных ресурсов.

Для оценки риска способности реализации повторных работ при тушении пожаров разработана шкала, которая дает оценку выполнения поставленных задач по тушению пожаров или проведению аварийно-спасательных работ в комплексе по двум параметрам «Способность» и «Возможность». Разработанная шкала оценки риска коррелирует с общеизвестной шкалой оценки перцептивных реакций «Борга» [5, 6] (рис. 2), учитывающей только параметр «Способность».

Шкала оценки риска способности реализации повторных работ показывает, что если значение риска составляет 9, то риск неудачи проведения работ оценивается понятием «Пренебрежим». Если оценка риска равна соответственно 6 или 4, то риск оценивается, как «Незначительный». Если оценка риска равна 3, то риск — «Средний». Если оценка риска равна 2, то риск будет «Выше среднего». Если оценка риска равна 1, то риск — «Высокий» и если 0, то выполнение работ «Не допустимо».

Возможность	[0,75;1,00]	0	3	6	9
	[0,6;0,75]	0	2	4	6
	[0,5;0,6]	0	1	2	3
	[0,00;0,5]	0	0	0	0
		[0,0;0,5]	[0,5;0,6]	[0,6;0,75]	[0,75;1,00]
		Способность			

Рис. 2. Шкала оценки риска способности реализации повторных работ

Применение предложенной шкалы даст возможность лицу, принимающему решение, оценивать риски при планировании повторных работ газодымозащитников в НДС, проводить оценку параметров «Способность» и «Возможность» как по отдельности, так и вместе в зависимости от сложности выполняемых работ.

Заключение

Разработанный критерий оценивания, реализованный в пожаротушении при повторных работах газодымозащитников, позволит более качественно и безопасно выполнять тактические задачи пожарными подразделениями при тушении крупных и затяжных пожаров. Разработанный критерий объединяет два параметра, основанных на технических возможностях дыхательного аппарата и способности газодымозащитника выполнять повторные работы. Данный критерий оптимально учитывает риски возникновения деструктивных событий при реализации повторных работ в непригодной для дыхания среде с учетом не только времени защитного действия ДА (критерий К), но и способности газодымозащитника (критерий L) выполнять поставленные задачи по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ. Критерий, учитывающий способность газодымозащитника выполнять работы с учетом нагрузки и восста-

новления хорошо сопоставляется с общеизвестной шкалой оценки перцептивных реакций «Борга». Разработанная шкала риска на основе параметров «Способность» и «Возможность» позволяет более качественно оценивать реализацию повторных работ газодымозащитниками на крупных и затяжных пожарах, а также в процессе проведения учебно-тренировочных занятий. В зависимости от оценки риска реализации повторных работ шкала показывает, каким риском можно пренебречь и при каком риске, реализация работ запрещена.

Разработанный критерий оценивания реализации тактических задач пожарными подразделениями при выполнении повторных работ при тушении крупных и затяжных пожаров может использоваться в программных комплексах планирования повторных работ на пожарах, а также при планировании тренировочных занятий газодымозащитников.

Список литературы

1. Шалявин Д. Н., Тараканов Д. В., Гринченко Б. Б. Алгоритм информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на объектах энергетики // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 3 (36). С. 53–61. EDN: FEWEUY.
2. Гринченко Б. Б., Тараканов Д. В. Автоматизированная система управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2018. №4. С. 32–36.
3. Шалявин Д. Н. Проблемно-ориентированная модель управления подготовкой газодымозащитников для выполнения длительных работ на затяжных пожарах // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023. № 4 (49). С. 106–113. EDN: HMSVVE.
4. Методика формирования безопасных режимов работы газодымозащитников с учетом мониторинга пульсовых зон / Д. Н. Шалявин, Е. А. Шмелева, Д. В. Тараканов [и др.] // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 4. С. 251–272. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272. EDN: MGIFTU.
5. Borg G., Hassmen P., Lagerstrom M. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1987, vol. 56, issue 6, pp. 679–685.
6. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign. IL: Human Kinetics. 1998. P. 110.

7. Тараканов Д. В., Гринченко Б. Б. Метод моделирования параметров работы газодымозащитников // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. 2016. Т. 1, № 1 (7). С. 203–205. EDN: XHZQIF.

8. Гринченко Б. Б. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре // *Технологии техносферной безопасности*. 2017. № 4 (74). С. 155–162. EDN: YWYDMQ.

References

1. Shalyavin D. N., Tarakanov D. V., Grinchenko B. B. Algoritmy informatsionnoy podderzhki upravleniya bezopasnost'yu uchastnikov tusheniya pozhara v neprigodnoy dlya dykhaniya srede na ob'yektakh energetiki [Algorithm for information support for managing the safety of fire-fighting participants when working in an unbreathable environment at energy facilities]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, vol. 3 (36), pp. 53–61.
2. Grinchenko B. B., Tarakanov D. V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya bezopasnost'yu pri rabotakh na pozharakh v neprigodnoy dlya dykhaniya srede [Automated safety management system when working on fires in an unsuitable for breathing environment]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya*, 2018, issue 4, pp. 32–36.
3. Shalyavin D. N. A Problemno-oriyentirovannaya model' upravleniya podgotovkoy gazodymozashchitnykh sredstv k vypolneniyu dlitel'nykh rabot pri zatyazhnykh pozharakh, [Problem-oriented model for managing the prepa-

ration of gas and smoke protectors for long-term work on protracted fires]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 4 (49), pp. 106–113, EDN HMSVVE.

4. Metodika formirovaniya bezopasnykh rezhimov raboty gazodymozashchitnikov s uchetom monitoringa pul'sovykh zon [Methodology for developing safe operating modes for gas and smoke protectors taking into account monitoring of pulse zones] / D. N. Shalyavin, E. A. Shmeleva, D. V. Tarakanov [et al.]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, issue 4, pp. 251–272, DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272. EDN: MGIFTU.

5. Borg G., Hassmen P., Lagerstrem M. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1987, vol. 56, issue 6, pp. 679–685.

6. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign. IL: Human Kinetics. 1998. P. 110.

7. Tarakanov D. V., Grinchenko B. B. Metod modelirovaniya parametrov raboty gazodymozashchitnikov [Method for modeling the operating parameters of gas and smoke protectors]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*, 2016, issue 1, vol. 1 (7), pp. 203–205, EDN: XHZQIF.

8. Grinchenko B. B. Veroyatnostnaya otsenka neobkhodimogo zapasa vozdukha v dykhatel'nykh apparatakh pri rabote na pozhare [Probabilistic assessment of the required air supply in breathing apparatus when working on a fire]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2017, vol. 4 (74), pp. 155–162, EDN: YWYDMQ.

Шалывин Денис Николаевич

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

E-mail: sharap1897@rambler.ru

Shaliavin Denis Nikolaevich

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

E-mail: sharap1897@rambler.ru

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

УДК 691.12

**СОСТАВ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА ПОВЫШЕННОЙ
ОГНЕСТОЙКОСТИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ КУКУРУЗНЫХ ОТХОДОВ**

Б. Б. КУЛЬШАРОВ¹, М. В. АКУЛОВА^{2,3}

¹ Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актобе

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

³ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: berikbai_79@mail.ru, m_akulova@mail.ru

При возникновении пожара повышается вероятность разрушения строительных конструкций как в процессе его тушения, так и во время последующей эксплуатации зданий и сооружений. В странах Таможенного союза действуют стандарты пожарной безопасности, которые определяют необходимые расстояния между зданиями в различных типах населенных пунктов, включая поселки и деревни. Эти нормативы, вместе с характеристиками пожара для зданий и используемых материалов, изложены в Техническом регламенте Таможенного союза 021/2011 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Настоящее исследование фокусируется на выборе состава формовочной смеси для изготовления строительных блоков, соответствующих требованиям пожарной безопасности. Используются шлакощелочное вяжущее и органический заполнитель на основе измельченных кукурузных отходов. Результаты исследования свидетельствуют о том, что измельченные кукурузные отходы обладают хорошими армирующими свойствами для строительных материалов: они прочные и не превращаются в солому при измельчении. Для создания прочного блока на органическом заполнителе требуется примерно 60–70 % измельченных кукурузных отходов от общего объема строительного материала. Также в статье рассматриваются свойства изделий, их характеристики и рекомендации по обеспечению пожарной безопасности.

Ключевые слова: легкие бетоны, шлакощелочные вяжущие, кукурузные отходы, теплоизоляционные свойства, прочность, огнестойкость.

**COMPOSITION OF SLAG ALKALI LIGHTWEIGHT CONCRETE
BASED ON GRINDED CORN WASTE WITH INCREASED FIRE RESISTANCE**

B. B. KULSHAROV¹, M. V. AKULOVA^{2,3}

¹ Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,
Republic of Kazakhstan, Aktobe

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

³ 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: berikbai_79@mail.ru, m_akulova@mail.ru

When a fire occurs, the likelihood of destruction of building structures increases both during the process of extinguishing it and during the subsequent operation of buildings and structures. The Customs Union countries have fire safety standards that determine the required distances between buildings in various types of settlements, including towns and villages. These standards, together with the fire characteristics for build-

ings and materials used, are set out in the Technical Regulations of the Customs Union 021/2011 “Technical Regulations on Fire Safety Requirements”.

This study focuses on the selection of molding sand composition for the production of building blocks that meet fire safety requirements. Slag-alkaline binder and organic filler based on crushed corn waste are used. The results of the study indicate that shredded corn waste has good reinforcing properties for building materials: it is durable and does not turn into straw when crushed. To create a durable block on organic aggregate, approximately 60–70 % of the total volume of building material is crushed corn waste. The article also discusses the properties of products, their characteristics and recommendations for ensuring fire safety.

Key words: lightweight concrete, slag-alkaline binders, corn waste, thermal insulation properties, strength, fire resistance.

Введение

Легкий бетон – это важный класс строительных материалов, который активно используется в современном строительстве благодаря своим преимуществам, таким как низкая плотность, хорошая теплоизоляционная способность и прочность. Однако его огнестойкость играет ключевую роль в обеспечении безопасности зданий и сооружений. В данном исследовании рассматривается вопрос огнестойкости легкого бетона на примере использования шлакощелочного вяжущего и органического заполнителя, такого как измельченные кукурузные отходы [1,3].

Цель исследования

Цель экспериментальной работы заключалась в разработке метода, основанного на данных о сжимающих напряжениях и структурно-термических свойствах материала, для оценки огнестойкости шлакощелочного легкого бетона, содержащего кукурузные отходы. Для этого были проведены следующие исследования:

1. Исследована прочность образцов шлакощелочных легких бетонов, содержащих кукурузные отходы, нагретых в интервале 200–800 °С, и получены данные для построения диаграмм деформирования при сжатии с учетом статистической обработки результатов.
2. Проведены термогравиметрические, спектральные и термические исследования образцов материала с целью определения изменения плотности, размеров и изменения физико-химических свойств в структуре.
3. Проведено тепловое моделирование процессов нагрева при пожаре для оценки тепловых свойств материала при высоких температурах.
4. Проведены полномасштабные огневые испытания перегородок из шлакощелочного легкого бетона, изготовленного из кукурузных отходов, для проверки аналитических методов.

В данной работе были проведены испытания при температуре 200... 800 °С. Описаны результаты огневых испытаний в диапазоне

200–800 °С, представлены результаты исследования термостойкости и прочности образцов материалов и диаграммы напряжений при сжатии с точки зрения статистической обработки данных, а также разработана методика расчета огнестойкости и огнезащитной эффективности конструкций из шлакощелочного легкого бетона с отходами кукурузы [2,4].

Материал

и методы исследования

Предыдущие исследования в области легких бетонов доказали эффективность использования различных заполнителей, таких как шлаки, золы, перлит, вермикулит, а также различные отходы промышленности и сельского хозяйства. Эти материалы не только способствуют снижению плотности бетона, делая его легким, но и улучшают его теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства. Однако, на сегодняшний день, наблюдается недостаток исследований, посвященных использованию кукурузных отходов в качестве заполнителя для легких бетонов [4–6].

Проведение новых исследований в этой области имеет большое значение для нескольких аспектов современной индустрии и экологии. Во-первых, это позволит развить экологически чистые строительные материалы, что является приоритетом в условиях растущего внимания к экологической устойчивости и энергоэффективности. Во-вторых, использование кукурузных отходов в качестве заполнителя способствует утилизации сельскохозяйственных отходов, что содействует сокращению загрязнения окружающей среды и снижению негативного воздействия человеческой деятельности на природу [6, 7].

Таким образом, проведение новых исследований в области использования кукурузных отходов в легких бетонах не только расширит наше понимание потенциала этого материала, но и создаст новые возможности для создания устойчивых и инновационных строительных решений, способствующих сохранению окружающей среды [7, 8].

В ходе данного исследования использовались измельченные кукурузные отходы в качестве заполнителя для шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости. Этот выбор основан на потенциале кукурузных отходов как эффективного и экологически чистого материала для улучшения свойств бетона, а также на необходимости решения проблемы утилизации сельскохозяйственных отходов (рис. 1).

Экспериментальные процедуры включали в себя несколько этапов. Сначала проводилась подготовка образцов бетона с различными пропорциями измельченных кукурузных отходов и шлакощелочного вяжущего. Затем, на основе разработанных составов бетона, были изготовлены испытательные образцы. После этого проводились испытания на прочность с целью определения механических характеристик материала и оценки его качества [11, 12]. Кроме того, образцы подвергались воздействию открытого пламени в течение определенного времени для оценки их огнестойкости. Для дополнительной оценки эффективности теплоизоляции измерялись теп-

лоизоляционные свойства образцов. Наконец, проводился анализ микроструктуры образцов с целью выявления особенностей внутреннего строения материала и оценки его структурной целостности (табл. 1 и 2).



Рис. 1. Измельченные кукурузные отходы

Таблица. 1. Химический состав кукурузных отходов

Измельченные кукурузные початки	Содержание компонентов, %			
	Целлюлоза	Лигнин	Пентазон	Полисахариды
	38,5-39,3	18,7-19,3	16,8-17,9	22-25

Таблица. 2. Фракционный состав измельченной кукурузы

Виды отходов	Отходы, % по массе, на ситах с размером ячеек, мм					
	40	20	10	5	2,5	1,25
Нерассеянные измельченные кукурузные отходы						
Частные	–	16	2,4	46,6	19	13
Полные	–	16	18,4	65	84	97

Для предварительной оценки была проведена серия тестовых экспериментов на образцах кубов с гранью 100 мм из шлакощелочного легкого бетона на основе отходов кукурузы. Образцы нагревались в муфельной печи до заданной температуры с шагом 100 °С, измерялись полученные напряжения и потеря массы, после чего охлаждались в естественных условиях. Затем образцы были испытаны на автоматизированной компрессионной машине, и были автоматически построены диаграммы деформации. Результаты показали, что прочность шлакощелочного легкого бетона на основе отходов кукурузы очень незначительно изменяется при температурах до 600 °С. С другой стороны, материал обладает низкой

теплопроводностью и чувствителен к резким изменениям температуры [1, 13, 15].

Окончательная процедура испытаний на термическую прочность была адаптирована на основе результатов предварительного исследования. В сотрудничестве с ТОО «АзимутСтройсервис» плотность образцов была скорректирована с 600 до 650 кг/м³ в соответствии с ГОСТ 19222-2019. Было подготовлено 32 прямоугольных образца «размерного» шлакощелочного легкого бетона с добавлением кукурузных отходов. Эти образцы соответствовали классам прочности на сжатие В2.1-4.2, средний размер образцов составлял 70 x 70 x 280 мм, что определялось ограничениями по внутреннему объему муфельной печи. Программа испытаний

состояла из восьми серий испытаний (по четыре образца в каждой серии), включая испытания образцов на сжатие без нагрева, испытания образцов на сжатие с нагревом (с интервалом $200\text{ }^{\circ}\text{C}$), испытания образцов на изгиб без нагрева и испытания образцов на изгиб с нагревом (до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Все образцы были изготовлены в феврале 2020 года и хранились в нормальных условиях при температуре $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $50 \pm 10\%$ в течение 18 месяцев.

Для обеспечения точности измерений каждый образец был условно разделен на четыре измерительные базы размером 10 мм, 100 мм, 200 мм и 270 мм. Ширина и высота поперечного сечения каждого образца измерялись четыре раза в положении базы измерения с помощью электронного штангенциркуля с точностью измерения 0,01 мм. Длина каждого образца измерялась четыре раза с помощью металлической линейки с переменной точностью измерения 0,5 мм и 0,25 мм (в зависимости от длины линейки). Массу образца измеряли с помощью

электронных весов с точностью 0,1 г и 0,01 г непосредственно перед нагреванием.

После подготовки образцы помещались в муфельную печь. Из-за ограниченного пространства в печи образцы размещались горизонтально параллельно боковым стенкам. Чтобы избежать повреждений из-за теплового расширения и сжатия, образцы помещались непосредственно на керамическую поверхность на дне печи без какой-либо опоры.

Чтобы обеспечить равномерный нагрев и предотвратить влияние теплового расширения и сжатия на прочность образцов, нагрев проводился поэтапно, температура постепенно повышалась, а время выдержки увеличивалось на последнем этапе. Схема нагрева образцов показана на рис. 2. Все образцы подвергались одинаковому нагреву с точностью до 1 мин. Охлаждение проводилось в закрытой печи в течение не менее 12 часов до достижения температуры $30 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, постепенное охлаждение применялось только к образцам, нагретым до $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Общий график нагрева образца показан на рис. 2.

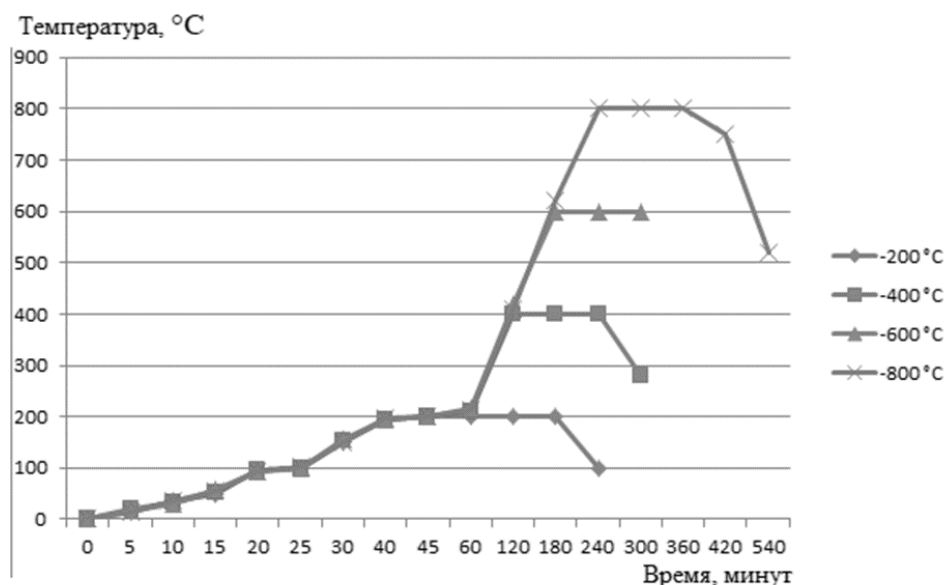


Рис. 2. Режимы нагрева образцов шлакощелочного легкого бетона с добавлением кукурузных отходов в печи

После извлечения из печи образцы были взвешены и проведены подробные измерения ширины, высоты и длины. Каждый образец помещался в герметичный пластиковый пакет, чтобы предотвратить воздействие влаги до испытания на прочность.

Испытания на прочность при сжатии проводились на серии из 10–18 образцов. Испытания проводились на автоматической компрессионной машине. Перед испытанием проверялись масса и размеры образцов. Испытания заключались в сжатии образца

вдоль его продольной оси до разрушения и регистрации перемещения и усилия сжатия в единицах 0,001 мм и 0,01 Н соответственно. Каждый образец помещался между опорными пластинами соосно с центром приложения поперечной силы. Начальная нагрузка составляла 30,0 Н, а скорость испытания поддерживалась постоянной и составляла 2 мм/мин. В процессе испытания деформация материала (F , Н - Δ , мм) контролировалась монитором испытательной машины.

Результаты исследования

Полученные результаты исследования подтверждают, что использование шлакощелочных вяжущих для защиты кукурузных отходов в составе легкого бетона способствует повышению его огнестойкости. Оптимальные пропорции заполнителя были определены, показав, что для достижения высокой огнестойкости требуется примерно 60-70 % измельченных кукурузных отходов от общего объема строительного материала. Эксперименты позволили получить ценные данные о свойствах шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости с использованием кукурузных отходов в качестве заполнителя. Результаты исследования могут быть использованы в дальнейших исследованиях и промышленных процессах для разработки новых и улучшенных строительных материалов с учетом экологических и энергосберегающих требований [1, 14, 16, 17].

Анализ данных показывает, что легкие арболитобетоны, изготовленные с использованием кукурузных отходов, проявили высокую огнестойкость, не показывая явных признаков серьезного повреждения или деформации после воздействия открытого пламени в течение заданного времени. Температурные показатели образцов также оставались в безопасных пределах, что подтверждает их высокую огнестойкость. Эти результаты открывают новые перспективы для применения легких арболитобетонов в различных областях строительства, где требуется повышенный уровень пожарной безопасности.

Обсуждение

Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод о том, что использование шлакощелочных вяжущих, защищающих кукурузные отходы в составе легкого бетона, способствует значительному улучшению его огнестойкости. Это открывает новые перспективы для применения легкого бетона в различных строительных проектах, где требуется повышенный уровень пожарной безопасности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию процесса производства и более глубокий анализ влияния различных факторов на огнестойкость легкого бетона.

Также важным направлением дальнейших исследований является оптимизация процесса производства шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости с использованием кукурузных отходов. Это включает в себя оптимизацию пропорций компонентов, разработку новых технологических методов и процессов с целью повышения эффективности производства и снижения затрат ресурсов.

Кроме того, важным аспектом дальнейших исследований является изучение долгосрочной устойчивости шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости с использованием кукурузных отходов. Это включает в себя оценку его долговечности, устойчивости к воздействию различных факторов окружающей среды, а также его экологической безопасности на протяжении всего срока службы. Такие исследования имеют большое практическое значение и могут способствовать появлению новых строительных материалов, соответствующих современным требованиям энергоэффективности, устойчивости и экологической безопасности.

Заключение

1. Исследование проектирования состава шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости на основе измельченных кукурузных отходов подтверждает перспективность и значимость таких материалов для современного строительства. Применение этих инновационных материалов может привести к существенному улучшению экологической устойчивости строительных проектов и повышению энергоэффективности зданий.

2. Успешное использование шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости на основе кукурузных отходов открывает новые перспективы для промышленности строительных материалов. Эти материалы могут быть использованы не только для строительства жилых и коммерческих зданий, но и для создания инфраструктурных объектов, дорожных покрытий и других инженерных сооружений.

3. Дальнейшее развитие и исследования в области шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости на основе кукурузных отходов представляют собой важную задачу для научного сообщества и промышленности. Такие исследования могут способствовать разработке новых технологий производства, повышению качества и конкурентоспособности материалов, а также сокращению негативного воздействия на окружающую среду.

4. В целом, использование шлакощелочного легкого бетона повышенной огнестойкости на основе кукурузных отходов представляет собой важный шаг в направлении создания устойчивой и энергоэффективной инфраструктуры. Это позволит снизить зависимость от традиционных строительных материалов, уменьшить воздействие на окружающую среду и сделать строительство более устойчивым к изменяющимся климатическим условиям.

Список литературы

1. Отливаник А. Н., Маев Е. Д. Технология производства арболита // Сельское строительство. 1964. № 9. С. 5–8.
2. Наназашвили И. Х. Справочник по производству и применению арболита. М.: Стройиздат, 1987. 208 с.
3. Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат, 1990. 415 с.
4. Исакулов Б. Р. Исследование прочности и деформативности поризованного арболита на основе отходов хлопчатника: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Владимир, 2000. 21 с.
5. Акулова М. В., Исакулов Б. Р., Кульшаров Б. Б. Технологические особенности получения серосодержащих вяжущих, и методика их исследования // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (СМАРТЭКС). 2015. № 1. С. 275–279.
6. Исследование влияние основных компонентов на прочностные свойства серосодержащего арболита / Б. Р. Исакулов, Б. К. Рысулов, Б. А. Имангазин [и др.] // Интеграция образования и науки: вызовы современного мира: материалы II Международной научно-практической конференции Казахско-Российского международного университета. Актобе: КРМУ, 2015. С. 86–90.
7. Получение грунтоарболитовых композитов на основе твердых частиц бурового шлама / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, Ю. А. Соколова [и др.] // Научное обозрение. 2016. № 21. С. 7–12.
8. Разработка состава и исследование характера формирования прочности арболитовых композитов на основе различных отходов промышленности и растительного сырья / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, Ю. А. Соколова [и др.] // Научное обозрение. 2017. № 2. С. 6–14.
9. Технология производства высокопрочных арболитовых бетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих / Б. Р. Исакулов, М. В. Акулова, Б. Б. Кульшаров [и др.]. Актобе: АРГУ Жубанова. 2017. 253 с.
10. Влияния отходов нефтехимической промышленности на структурообразование свойств вяжущих для получения легких бетонов / Б. Р. Исакулов, Б. К. Рысулов, Х. Т. Абдуллаев [и др.] // Каракалпакский государственный университет в годы независимости: сборник научных трудов. Узбекистан, Нукус. 2017. С. 6–14.
11. Исследование прочности и деформативности серосодержащего арболита / Б. Р. Исакулов, Б. Б. Кульшаров, Г. Ж. Таханова [и др.] // Словацкий международный научный журнал. 2018. № 22. С. 32–35.
12. Исследование деформативности серосодержащих арболитовых композитов при различных длительных нагрузках / Б. Р. Исакулов, Б. Б. Кульшаров, А. М. Сартова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 4 (77). С. 74–81.
13. Formation of strength and phases of sequence of destruction of arbolite composites at various long loads, news of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan / B. R. Isakulov, M. V. Akulova, B. B. Kulsharov [et al.]. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2020. vol. 4 (442). С. 28–34. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.81
14. Получение и исследование свойств вяжущих на основе отходов нефтегазовой промышленности / Б. Р. Исакулов, М. В. Акулова, Б. Б. Кульшаров [и др.] // Эксперт: Теория и практика. 2020. № 5 (8). С. 22–26. DOI: 10.24411/2686-7818-2020-10045
15. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials / Ю. А. Соколова, М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия Химия и технология, 2020. № 6. С. 65–72. DOI: 10.32014/2020.2518-1491.99
16. Детоксикация промышленных отходов для получения серосодержащих вяжущих строительных материалов / Б. Р. Исакулов, М. В. Акулова, Б. Б. Кульшаров [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. № 1 (82). С. 163–172.
17. Иванова А. А. Голубев Н. С., Акулова М. В. Повышение эффективности цементных вяжущих с использованием кремнесодержащего модификатора // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2022. № 1. С. 170–172.

References

1. Otlivanchik A. N., Mayev E. D. Tekhnologiya proizvodstva arbolita [Arbolite production technology]. *Sel'skoye stroitel'stvo*, 1964, vol. 9, pp. 5–8.
2. Nanazashvili I. H. *Spravochnik po proizvodstvu i primeneniyu arbolita* [Handbook on the production and use of arbolite]. Moscow: Stroyizdat, 1987, 208 p.

3. Nanazashvili I. H. *Stroitel'nyye materialy iz drevesno-tsementnoy kompozitsii. 2-ye izd, pererab. i dop.* [Building materials from wood-cement composition. 2nd ed., reprint. and additional]. L.: Stroyizdat, 1990. 415 p.

4. Isakulov B. R. Issledovaniye prochnosti i deformativnosti porizovannogo arbolita na osnove otkhodov khlopchatnika. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Study of the strength and deformability of porous wood concrete based on cotton waste. Abstract cand. tech. sci. diss.]. Vladimir, 2000. 21 p.

5. Akulova M. V., Isakulov B. R., Kulsharov B. B. Tekhnologicheskiye osobennosti polucheniya serosoderzhashchikh vyazhushchikh, i metodika ikh issledovaniya. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoymkiye tekhnologii i materialy (SMARTEX)*, 2015. Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University, vol. 1, pp. 275–279.

6. Issledovaniye vliyaniye osnovnykh komponentov na prochnostnyye svoystva serosoderzhashchego arbolita [Study of the influence of the main components on the strength properties of sulfur-containing wood concrete] / B. R. Isakulov, B. K. Rysulov, B. A. Imangazin [et al.]. *Integratsiya obrazovaniya i nauki: vyzovy sovremennogo mira: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Kazakhsko-Rossiyskogo mezhdunarodnogo universiteta*. Aktobe: KRMU, 2015. Pp. 86–90.

7. Polucheniye gruntoarbolitovykh kompozitov na osnove tverdykh chastits burovogo shlama [Preparation of soil-arbolite composites based on solid particles of drill cuttings] / M. V. Akulova, B. R. Isakulov, Yu. A. Sokolova [et al.]. *Nauchnoye obozreniye*, 2016, issue 21, pp. 7–12.

8. Razrabotka sostava i issledovaniye kharaktera formirovaniya prochnosti arbolitovykh kompozitov na osnove razlichnykh otkhodov promyshlennosti i rastitel'nogo syr'ya [Development of the composition and study of the nature of the formation of strength of wood concrete composites based on various industrial wastes and plant raw materials] / M. V. Akulova, B. R. Isakulov, Yu. A. Sokolova [et al.]. *Nauchnoye obozreniye*, 2017, issue 2, pp. 6–14.

9. *Tekhnologiya proizvodstva vysokoprochnykh arbolitovykh betonov na osnove kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh i serosoderzhashchikh vyazhushchikh* [Technology for the production of high-strength arbolite concrete based on composite slag-alkaline and sulfur-containing binders] / B. R. Isakulov, M. V. Akulova, B. B. Kulsharov [et al.]. Aktobe, ARSU Zhubanova, 2017. 253 p.

10. Vliyaniya otkhodov neftekhimicheskoy promyshlennosti na strukturoobrazovaniye

svoystv vyazhushchikh dlya polucheniya legkikh betonov [The influence of waste from the petrochemical industry on the structure formation of the properties of binders for the production of lightweight concrete] / B. R. Isakulov, B. K. Ryskulov, Kh. T. Abdullaev [et al.]. Karakalpakskiy gosudarstvennyy universitet v gody nezavisimosti: sbornik nauchnykh trudov. Uzbekistan, Nukus, 2017. Pp. 6–14.

11. *Issledovaniye prochnosti i deformativnosti serosoderzhashchego arbolita* [Study of the strength and deformability of sulfur-containing wood concrete] / B. R. Isakulov, B. B. Kulsharov, G. Zh. Takhanova [et al.]. *Slovatskiy mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*, 2019, vol. 4 (77), pp. 32–35.

12. *Issledovaniye deformativnosti serosoderzhashchikh arbolitovykh kompozitov pri razlichnykh dlitel'nykh nagruzkakh* [Study of the deformability of sulfur-containing arbolite composites under various long-term loads] / B. R. Isakulov, B. B. Kulsharov, A. M. Sartova [et al.]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2019, vol. 4 (77), pp. 74–81. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.81

13. Formation of strength and phases of sequence of destruction of arbolite composites at various long loads, news of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan / B. R. Isakulov, M. V. Akulova, B. B. Kulsharov [et al.]. *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2020. vol. 4 (442). C. 28–34. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.81

14. Polucheniye i issledovaniye svoystv vyazhushchikh na osnove otkhodov neftegazovoy promyshlennosti [Preparation and study of the properties of binders based on waste from the oil and gas industry] / B. R. Isakulov, M. V. Akulova, B. B. Kulsharov [et al.]. *Ekspert: Teoriya i praktika*, 2020, vol. 5 (8), pp. 22–26. DOI: 10.24411/2686-7818-2020-10045

15. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials / Yu. A. Sokolova, M. V. Akulova, B. R. Isakulov [et al.]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya Khimiya i tekhnologiya*, 2020. issue 6, pp. 65–72. DOI: 10.32014/2020.2518-1491.99

16. *Detoksikatsiya promyshlennykh otkhodov dlya polucheniya serosoderzhashchikh vyazhushchikh stroitel'nykh materialov* [Detoxification of industrial waste to obtain sulfur-containing binder building materials] / B. R. Isakulov, M. V. Akulova, B. B. Kulsharov [et al.]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2021, issue 1 (82), pp. 163–172.

17. Ivanova A. A. Golubev N. S., Akulova M. V. Povysheniye effektivnosti tsementnykh vyazhushchikh s ispol'zovaniyem kremnesoderzhashchego modifikatora [Improving the efficiency of cement binders using a siliconcontaining

modifier]. Molodyye uchenyye - razvitiyu Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy (POISK), 2022. vol. 1, pp. 170–172.

Кульшаров Берикбай Балтабаевич

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актобе

Старший преподаватель

E-mail: berikbai_79@mail.ru

Kulsharov Berikbay Baltabaevich

Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,
Republic of Kazakhstan, Aktobe

Senior Lecturer

E-mail: berikbai_79@mail.ru

Акулова Марина Владимировна

Ивановский государственный политехнический университет

Российская Федерация, г. Иваново,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор

E-mail: m_akulova@mail.ru

Akulova Marina Vladimirovna

Federal State Budget Educational 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

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: m_akulova@mail.ru

УДК 666.97:66.02:620.193

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА АГРЕССИВНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ В ТОРКРЕТ-БЕТОННОМ ПОКРЫТИИ

**В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, И. В. КРАСИЛЬНИКОВ², У. А. НОВИКОВА^{3,5},
И. А. КРАСИЛЬНИКОВА⁴, К. Б. СТРОКИН⁵**

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

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

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва

⁴ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир

⁵ Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, uliana.a.novikova@gmail.com,
irinanebukina@rambler.ru, strokin07@rambler.ru

В работе описана степень разработанности научного направления использования торкрет-бетонных покрытий при строительстве с позиций материаловедения и технологии строительного производства. Обозначена проблема прогнозирования долговечности торкрет-бетонных покрытий, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах, в которых содержатся различные соли. Описаны подпроцессы гетерогенного физико-химического процесса взаимодействия жидких агрессивных сред с торкрет-бетонным покрытием. Графически представлена принципиальная схема динамики массопереноса в системе «жидкая агрессивная среда → торкрет-бетонное покрытие». Расчет диффузии агрессивных солей по толщине торкрет-бетонного покрытия предложено проводить методом микропроцессов. Приведено дифференциальное уравнение переноса агрессивных солей по толщине торкрет-бетонного покрытия, с необходимыми начальными и граничными условиями. Записанные уравнения, для упрощения математических выкладок и улучшения качества анализа получаемого решения, переведены в безразмерные переменные. Приведено аналитическое решение распределения концентраций агрессивных солей по толщине торкрет-бетонного покрытия. По полученному решению, на примере хлорид анионов, выполнен численный эксперимент, показывающий в кинетике и динамике распределение полей концентраций хлорид анионов по толщине торкрет бетонного покрытия.

Ключевые слова: долговечность, торкрет-бетон, массоперенос, концентрация, химическое взаимодействие, коэффициенты диффузии.

MODELING OF MASS TRANSFER OF AGGRESSIVE SALT SOLUTIONS IN A SHOTCRETE COATING

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, I. V. KRASILNIKOV^{2,3}, I. A. KRASILNIKOVA⁴,
U. A. NOVIKOVA⁵, K. B. STROKIN⁵**

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

² Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo

³ Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow

⁴ Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir

⁵ Sakhalin State University,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

E-mail: varrym@gmail.com , korasb@mail.ru , uliana.a.novikova@gmail.com,
irinanebukina@rambler.ru, strokin07@rambler.ru

The paper describes the degree of development of the scientific direction of the use of shotcrete concrete coatings in construction from the standpoint of materials science and technology of construction production. The problem of predicting the durability of shotcrete coatings operated in liquid aggressive media containing various salts is outlined. The subprocesses of a heterogeneous physico-chemical process of interaction of liquid aggressive media with a shotcrete coating are described. A schematic diagram of the dynamics of mass transfer in the system «liquid aggressive medium → shotcrete-concrete coating» is graphically presented. It is proposed to calculate the diffusion of aggressive salts along the thickness of the shotcrete coating using the microprocess method. A differential equation for the transfer of aggressive salts along the thickness of the shotcrete coating, with the necessary initial and boundary conditions, is given. The recorded equations, in order to simplify mathematical calculations and improve the quality of analysis of the resulting solution, are translated into dimensionless variables. An analytical solution is given for the distribution of concentrations of aggressive salts over the thickness of the shotcrete coating. According to the obtained solution, a numerical experiment was performed using the example of chloride anions, showing in kinetics and dynamics the distribution of chloride anion concentration fields over the thickness of the shotcrete concrete coating.

Key words: durability, shotcrete, mass transfer, concentration, chemical interaction, diffusion coefficients.

Обеспечение долговечности, коррозионной стойкости, безопасности и прочих свойств строительных материалов, изделий и конструкций на протяжении всего жизненного цикла является актуальной проблемой современных строительных научных исследованиях и инженерии [1].

Конструкции, изготовленные из торкрет-бетона, при исследовании на коррозионную стойкость обычно упускаются из рассмотрения ввиду технологии высокоскоростного его нанесения в струе сжатого воздуха. При данном способе нанесения частицы бетонной смеси приобретают значительную кинетическую энергию, в результате плотность увеличивается, а пористость уменьшается. Торкрет-бетонные покрытия, по сравнению с бетонными смесями аналогичной рецептуры отформованными классическими методами, имеют более высокую прочность, лучшее сцепление с нижележащей поверхностью (основанием), а кроме этого, повышенные классы по водонепроницаемости и морозостойкости [2,3].

В научной литературе достаточно широко описаны особенности торкрет-бетонов как строительного материала: сцепление торкрет-бетона с существующими конструкциями из каменных материалов; капиллярно-пористая структура с воздушными пустотами, прочность и проницаемость мокрого торкрет-бетона, достигаемые модифицированием кремнеземом и воздухововлекающим реагентом, как в процессе изготовления изделия, так и после торкретирования [4]; физико-механические характеристики торкрет-бетона, изготовленного с использованием наноматериалов и волокнистого армирования; эффективность добавок-

ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона [5], влияние полимерного связующего на силу выдергивания фибры в торкрет-бетоне, ускорители схватывания и твердения для торкрет-бетонов, повышение сейсмостойкости каменных конструкций односторонними аппликациями из торкрет-бетона [6]; механические характеристики образцов торкрет-бетона при испытаниях на прямой срез; механические свойства торкрет-бетона с регенерированным заполнителем из строительных отходов; торкрет-бетоны и инъекционные растворы для комплексного ремонта подземных сооружений; рецептуры мелкозернистых бетонов, укладываемых методом «мокрого» торкретирования; составы торкрет-бетонов для эксплуатации в условиях движущегося потока жидкости; методы и материалы для усиления конструкций подземных сооружений торкрет-бетоном; применение магнезиального малоцементного торкрет-бетона для ремонта футеровки печи огневого рафинирования меди, анортитовый и гексаалюминаткальциевый теплоизоляционные бетоны на микропористых заполнителях [8]; влияние безщелочных и щелочных ускорителей набрызг-бетона в цементных системах на характеристики процесса схватывания и твердения; прочность сцепления арматурных стержней, покрытых торкрет-бетоном [9]; торкрет-бетон и строительные растворы для 3d-принтеров с использованием китайских промышленных отходов [10].

В технологии строительного производства выполнено несколько исследований для повышения качества работ по нанесению покрытий из торкрет-бетона: осуществлено моделирование параметров технологического

процесса сухого торкретирования поверхностей строительных конструкций [4]; с технико-экономической точки зрения оптимизирован выбор оборудования для производства торкрет-бетона; разработана технология возведения малоэтажных зданий методом мокрого торкретирования [11]; исследовано торкретирование в электрическом поле, создаваемом постоянным высоким напряжением; изыскана возможность применения мелкозернистого торкрет-бетона для строительства туннелей метро [12].

Эксплуатация изделия с торкрет-бетонным покрытием, как и многих строитель-

ных материалов и конструкций, происходит в агрессивной окружающей среде. Для торкрет-бетона опасными будут в первую очередь жидкие агрессивные среды: морская вода, содержащая значительное количество сульфат и хлорид анионов (табл 1) [13,14], а также грунтовые воды, в особенности на территориях, загрязненных промышленностью. Особенную опасность представляют изделия, подверженные воздействию воды океанов и открытых морей, которой, в частности, омывается побережье острова Сахалин. Значительное количество сульфат анионов содержится в канализационных стоках и очистных сооружениях.

Таблица 1. Общее количество растворимых солей, сульфат и хлорид анионов в воде озер, морей и океана

Наименование водного объекта	Содержание в воде, кг/м ³		
	растворимых солей	анионов SO ₄ ²⁻	анионов Cl ⁻
Азовское море	9,0 – 12,0	-	-
Байкал (озеро)	25,9	6,40	3,50
Балтийское море	1,0 – 7,2	-	-
Белое море	19,0 – 33,0	1,50 – 2,60	10,50 – 18,20
Каспийское море (озеро)	10,0- 14,0	2,38 – 3,33	4,18 – 5,86
Черное море	18,0 – 22,0	1,35 – 1,65	9,90– 12,10
Черепетская ГРЭС	0,6-0,7	0,30-0,40	0,10-0,20
Океаны и открытые моря	33,0 – 37,4	2,54 – 2,88	18,30 – 20,70

Во время эксплуатации железобетонного изделия с нанесенным торкрет-бетонным покрытием в жидкой агрессивной среде, происходят следующие физико-химические массообменные процессы: адсорбция агрессивных ионов из объема жидкости поверхностью изделия, диффузия агрессивных ионов вглубь конструкции (по ее толщине); массоперенос целевого компонента бетона (гидроксида кальция) по толщине изделия к поверхности, контактирующей с жидкостью, с последующим переходом в жидкую фазу; гетерогенные химические реакции растворов агрессивных веществ с целевым компонентом структуры торкрет-бетона; диффузия продуктов реакции.

При взаимодействии бетона с агрессивной окружающей средой, особенно жидкой, между ними происходят массообменные процессы, порождающие коррозию бетона [15]. Доказано, что при воздействии жидких агрессивных сред, коррозия бетона в первую очередь лимитируется внутренней диффузией и внешней массоотдачей [16]. Диффузионные процессы в торкрет-бетонах протекают с малой интенсивностью, в реальных конструкциях их продолжительность определяется не годами, а десятилетиями [17,18].

Для обеспечения долговечности торкрет-бетонных покрытий исследованы: поведение конструкционного и декоративного тор-

крет-бетона при высоких температурах; механизмы разрушения торкрет-бетона, нанесенного по сухой технологии торкретирования при совместном воздействии сульфатов и циклов сушки-увлажнения; механические свойства, проницаемость и долговечность набрызг-бетона с добавками для ускоренного твердения; повышение прочности и долговечности торкрет-бетона в течение длительного времени благодаря высокопрочному ускорителю на минеральной основе гептаалюмината додекальция (12CaO·7Al₂O₃) [2–5,15–18].

Коррозионные процессы в гетерогенной системе «жидкая агрессивная среда – торкрет-бетон» протекают менее интенсивно, чем в железобетонных конструкциях с немодифицированными бетонами классического формирования. Но спрогнозировать долговечность конструкции при наличии покрытия торкрет-бетона возможно только при наличии модели, учитывающей все особенности процесса.

В капиллярно-пористых материалах, в системе «твердое тело – жидкость» особенно интенсивно массоперенос происходит на границе раздела фаз.

Диффузия сульфатов в капиллярно-пористой структуре бетона вызывает микротрещины ввиду образования таких соединений как этtringит (Е), гипс (G) и таумасит (Т), и кристаллизация сульфатной соли (в основном

сульфата натрия). Что касается повреждений, вызванных хлоридами, обычно считается, что они могут соединяться с фазой трехкальциевым алюминатом ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) с образованием соли Фриделя ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Более того, во время приготовления торкрет-бетонных материалов могут часто возникать конструктивные дефекты, такие как полости, что в значительной степени снижает надежность испытаний.

Как показано в работе [19], в результате массообменных процессов, спровоцированных воздействием на бетон конструкции агрессивной среды, появляются поля неравномерного распределения свободного гидроксида кальция по объему конструктивного элемента, в особенности в зонах, примыкающих к границе раздела фаз. К аналогичному выводу приходят многие исследователи в области коррозии бетона [20].

Капиллярно-пористая структура торкрет-бетона, сформированная в результате рационального подбора и соотношения вида вяжущих, заполнителей, добавок и воды, изготовленного по технологии высокоскоростного его нанесения в струе сжатого воздуха будет обладать низкой диффузионной проницаемостью и значительно изменит параметры коррозионного массопереноса, опираясь на которые необходимо определять долговечность торкрет-бетонного покрытия.

Интенсивность массообменных процессов в структуре торкрет-бетонного изделия, а, следовательно, и его долговечность, определяется следующими факторами: продолжительностью воздействия жидкой агрессивной среды; скоростью течения жидкости; внутренней диффузией целевого компонента; конвективной массоотдачей ионов агрессивных солей из жидкости в тело конструкции; внутренним массопереносом ионов агрессивных солей от границы взаимодействия вглубь изделия; внешней массоотдачей целевого компонента в жидкую агрессивную среду; температурными условиями эксплуатации изделия; видом и концентрацией раствора; параметрами массопереноса (коэффициенты массопроводности, массоотдачи, интенсивности внутреннего объемного поглощения (выделения) веществ, законов и констант равновесия на границе раздела «торкрет-бетон – жидкость») и др. [21]. Общий вид потоков массы катионов и анионов при контакте торкрет-бетона с растворами солей приведен на рис. 1.

Разработка математической модели массообменных процессов в торкрет-бетонном покрытии, учитывающей физико-химические особенности коррозионных структурных изменений в условиях воздействия агрессивных растворов солей, позволяющей проводить по-

строение полей концентраций агрессивных солей и гидроксида кальция, анализировать влияние основных параметров системы на массоперенос, исследование скорости коррозии может быть произведено на основании ранее выполненных изысканий научной школой академика РААСН С.В. Федосова. Учениками его школы разработано множество математических моделей массопереноса при коррозии бетона, как в жидких, так и газообразных средах [18, 21–27].

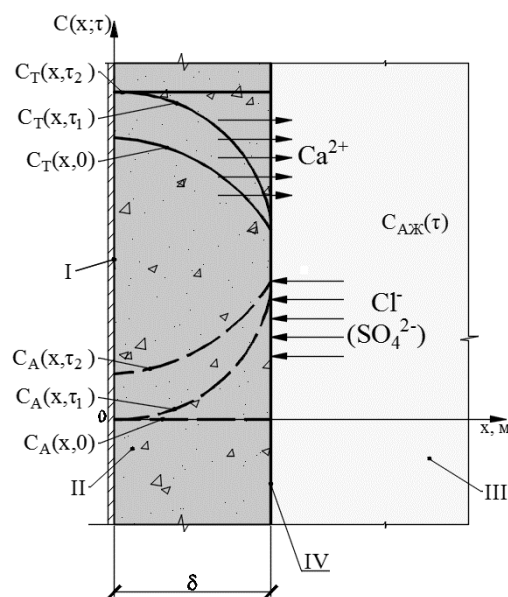


Рис. 1. Принципиальная схема потоков масс в системе «жидкая агрессивная среда → торкрет-бетонное покрытие»

δ — толщина торкрет-бетонного покрытия;
I — арматура; II — торкрет-бетонное покрытие;
III — жидкая агрессивная среда;
IV — граница взаимодействия

Отметим, что диффузия целевого и агрессивного компонентов в моделях рассматривается исходя из теории массопереноса, сформулированной А. В. Лыковым. Согласно ей, массоперенос веществ в пористой структуре материала, осложненный химическими превращениями, математически описывается нелинейным дифференциальным уравнением массопроводности параболического типа с дополнительным слагаемым, отражающим неравномерное выделение (поглощение) вещества по координате [21, 27]:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = \text{div}[k(x, \tau) \text{grad} C(x, \tau)] + q_v(x, \tau), \quad (1)$$

где $C(x, \tau)$ — распределение содержания (концентрации) переносимого вещества по тол-

щине капиллярно-пористого тела, в зависимости от времени процесса t и координаты x ; $k(x, t)$ — коэффициент массопроводности (диффузии) рассматриваемого вещества в капиллярно-пористом теле, m^2/c ; $q_v(x, t)$ — интенсивность объемного выделения (поглощения) рассматриваемого вещества в капиллярно-пористом теле, вследствие фазовых и химических превращений, $kg/(m^3 \cdot c)$.

По аналогии с разработанными моделями [18, 21–27], интенсивность объемного выделения (поглощения) вещества вследствие фазовых и химических превращений позволит учитывать химическое взаимодействие гидроксида кальция с растворами агрессивных солей в структуре бетона. Численные значения интенсивности объемного выделения (поглощения) вещества, как и скорости химической реакции, в значительной степени будут зависеть от концентраций реагирующих веществ. На химические реакции в капиллярно-пористой структуре бетона будут оказывать влияние температура, влажность, размеры пор, в которых происходят реакции и другие факторы [29].

По аналогии с разработанной академиком РААСН С. В. Федосовым методологии математического моделирования нестационарного массопереноса при коррозии бетона расчет проводим методом «микропроцессов», разбивая весь период эксплуатации на небольшие временные интервалы $\Delta t = t_i - t_{i-1}$.

В каждом микропроцессе считаем параметры среды и коэффициент массопроводности постоянными, а мощность объемного поглощения вещества, вследствие химических превращений, описываемой определенной математической функцией.

Массоперенос растворов агрессивных солей для расчетной схемы рис. 1. на i -м микропроцессе в системе «жидкая агрессивная среда → торкрет-бетонное покрытие» с внутренним источником массы описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка в частных производных:

$$\frac{\partial C_A(x, t)}{\partial t} = k_A \frac{\partial^2 C_A(x, t)}{\partial x^2} + \frac{q_{v,A}(x)}{\rho_m}, t > 0, 0 \leq x \leq \delta, \quad (2)$$

где $C_A(x, t)$ — распределение содержания агрессивных ионов (анионов, катионов) по толщине торкрет-бетонного покрытия, kg иона/ kg бетона; k_A — коэффициент массопроводности рассматриваемого агрессивного иона в торкрет-бетоне, m^2/c ; $q_{v,A}(x)$ — интенсивность объемного поглощения рассматриваемого агрессивного иона в торкрет-бетоне вследствие химических реакций с гидроксидом кальция и(или) другими компонентами бетона, kg иона/ $(m^3 \cdot c)$; x — координата, m ; t — время, c ; ρ_m — плотность торкрет-бетона, kg/m^3 .

Начальное распределение концентрации агрессивных солей в торкрет-бетоне $C_{0A}(x)$ в общем виде на i -м микропроцессе принимаем неравномерным, полученным из результатов расчета $(i-1)$ -го микропроцесса, описываемым какой-либо математической функцией:

$$C_A(x, 0) = C_{0A}(x), \quad (3)$$

Учитывая низкую диффузионную проницаемость торкрет-бетона, примем допущение, что на левой границе торкрет-бетонного покрытия поток массы агрессивных анионов отсутствует, тогда граничное условие в начале координат следующее:

$$\frac{\partial C(0, t)}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

Для описания закономерности конвективного массообмена на границе раздела торкрет-бетона и жидкости, необходимо учитывать, что количество вещества, переходящее из жидкости в торкрет-бетон посредством конвективной диффузии, полностью идентично количеству агрессивных анионов, распределяющихся по толщине торкрет-бетонного покрытия за счет массопроводности. Следовательно, применяем граничные условия третьего рода:

$$k_A \frac{\partial C_A(\delta, t)}{\partial x} = \beta_A [C_{pA}(t) - C_A(\delta, t)]. \quad (5)$$

где β_A — коэффициент массоотдачи агрессивных анионов из жидкой среды в торкрет-бетон, m/c ; C_{pA} — равновесная концентрация агрессивных анионов в жидкости на поверхности торкрет-бетона, kg аниона/ kg бетона.

В совокупности, приведенные физико-химические уравнения (2)–(5), описывают изменение содержания агрессивных ионов солей по толщине торкрет-бетонного покрытия на любом i -м микропроцессе, а их решение позволит получить аналитическое выражение распределения содержания агрессивных ионов (анионов, катионов) по толщине торкрет-бетонного покрытия $C_A(x, t)$.

Универсальное аналитическое выражение распределения содержания агрессивных ионов (анионов, катионов) по толщине торкрет-бетонного покрытия $C_A(x, t)$ в виде функциональных зависимостей на любом i -м микропроцессе, как показывает опыт решения аналогичных задач [30, 31], формируется критериями подобия и относительными (безразмерными) величинами:

$$\Omega(\bar{x}, Fo_{mA}) = \frac{C_A(x, T) - C_{A,p}}{C_{A,p}}, Fo_{mA} = \frac{k_{AT}}{\delta^2}, Bi_{mA} = \frac{\beta_{AT}}{k}, Po_{mA}^*(\bar{x}) = \frac{q_{v,A}(x) \cdot \delta^2}{k_{AP,T} \cdot C_{A,p}}. \quad (6)$$

В зависимостях (6) обозначено: $\Omega(\bar{x}, Fo_{mA})$ — безразмерная концентрация агрессивных солей в торкрет-бетоне; Fo_{mA} — массообменный критерий Фурье, рассчитываемый при диффузии иона агрессивной соли; $Po_{mA}^*(\bar{x})$ — массообменный критерий Померанцева, отнесенный к диффузии агрессивного иона соли и интенсивности ее поглощения при химических реакциях (модифицированный); Bi_{mA} — массообменный критерий Био, рассчитываемый при интенсивности массоотдачи иона агрессивной соли.

С учетом обозначений (6), в безразмерных переменных система уравнений (2)–(5) запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial \Omega(\bar{x}, Fo_{mA})}{\partial Fo_{mA}} = \frac{\partial^2 \Omega(\bar{x}, Fo_{mA})}{\partial^2 \bar{x}} + Po_{mA}^*(\bar{x}), \quad Fo_{mA} > 0, 0 \leq \bar{x} \leq 1, \quad (7)$$

начальное условие:

$$\Omega(\bar{x}, 0) = \frac{C_{0A}(x) - C_{A,p}}{C_{A,p}} = \Omega_0(\bar{x}), \quad (8)$$

граничные условия:

$$\left. \frac{\partial \Omega(\bar{x}, Fo_{mA})}{\partial \bar{x}} \right|_{\bar{x}=0} = \frac{\partial \Omega(\bar{x}, Fo_{mA})}{\partial \bar{x}} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Omega(1, Fo_{mA})}{\partial \bar{x}} = -Bi_{mA} \Omega(1, Fo_{mA}). \quad (10)$$

Решение системы уравнений (7)–(10), позволит установить аналитическую зависимость распределения полей концентраций агрессивной соли в безразмерных переменных по толщине торкрет-бетонного покрытия в конце i -го микропроцесса. Взаимное влияние на распределение свободного гидроксида кальция и агрессивной соли отражается в источниках массы выделения (поглощения) вещества, которые в безразмерных переменных отражены в модифицированных массообменных критериях Померанцева — Po_m^* и Po_{mA}^* . Решения аналогичной системы известны [21], адаптация их, для расчета распределений концентраций агрессивной соли, будет следующая:

$$\begin{aligned} \Omega(\bar{x}, Fo_{mA}) = & 2 \frac{Bi_{mA} + 1}{Bi_{mA} + 2} \int_0^1 \Omega_{0A}(\xi) d\xi + 2 \frac{Bi_{mA} + 1}{Bi_{mA} + 2} \int_0^1 Po_{mA}^*(\xi) d\xi + \\ & + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{Bi_{mA}^2 + \mu_m^2}{Bi_{mA}^2 + Bi_{mA} + \mu_m^2} \cos(\mu_m \bar{x}) \cdot \exp(-\mu_m^2 Fo_{mA}) \cdot \int_0^1 \Omega_{0A}(\xi) \cos(\mu_m \xi) d\xi - \\ & - 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{Bi_{mA}^2 + \mu_m^2}{\mu_m^2 [Bi_{mA}^2 + Bi_{mA} + \mu_m^2]} \cos(\mu_m \bar{x}) \cdot \exp(-\mu_m^2 Fo_{mA}) \cdot \int_0^1 Po_{mA}^*(\xi) \cos(\mu_m \xi) d\xi. \end{aligned} \quad (11)$$

Выражение (11) позволяет моделировать распределение любой агрессивной соли на i -м микропроцессе по толщине торкрет-бетонного покрытия при жидкостной коррозии, тем самым корректировать интенсивность источников массы выделения (поглощения) вещества, которые в безразмерных переменных отражены в модифицированных массообменных критериях Померанцева — Po_m^* и Po_{mA}^* ; отслеживать динамику продвижения агрессивной соли на i -м микропроцессе по толщине торкрет-бетонного покрытия, в том числе определять

временные интервалы, в границах которых обеспечивается защита арматуры бетона.

Рассмотрим реализацию выражения (11) при расчете полей концентраций хлорид анионов по толщине торкрет-бетонного покрытия. Рассмотрим торкрет-бетонную смесь серии из портландцемента с нормированным составом заполнителей и добавок (см. табл. 2). Экспериментально рассчитанные характеристики массопереноса для системы «жидкая агрессивная среда → торкрет-бетонное покрытие» для растворов солей сульфата и хлорида натрия приведены в табл. 3 [2,3].

Таблица 2. Расчет соотношения приготовления смеси для нанесения торкрет-бетонного покрытия «мокрым» способом, на 1 м³

Исходные материалы	Расход для изготовления торкрет-бетонной смеси по образцам различных серий, кг
Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н	450
Крупный заполнитель – щебень фракции 5-10 мм	910
Мелкий заполнитель – песок средней крупности	900
Ускоритель твердения ($\text{NaAlO}_2 + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)	10,6
Водоредуцирующая добавка (суперпластификатор на основе поликарбоновой кислоты)	3,38
Вода	247,5
В/Ц	0,55

Таблица 3. Экспериментально рассчитанные характеристики массопереноса для системы «жидкая агрессивная среда → торкрет-бетонное покрытие»

Наименование параметра массопереноса	Значения в образцах	
	На 30 сут	На 160 сут.
Коэффициент массоотдачи, м/с	$2,89 \cdot 10^{-8}$	$2,91 \cdot 10^{-8}$
Коэффициент массопроводности гидроксида кальция, м ² /с	$5,89 \cdot 10^{-11}$	$4,95 \cdot 10^{-11}$
Интенсивность объемного поглощения свободного гидроксида кальция, кг $\text{Ca}(\text{OH})_2 / (\text{м}^3 \cdot \text{с})$	$6,59 \cdot 10^{-9}$	$8,84 \cdot 10^{-9}$
Коэффициент диффузии сульфат анионов, м ² /с	$5,8 \cdot 10^{-12}$	$4,6 \cdot 10^{-12}$
Коэффициент диффузии хлорид анионов, м ² /с	$11,6 \cdot 10^{-12}$	$8,9 \cdot 10^{-12}$

Рассчитаем для диффузии хлорид анионов массообменный критерий подобия Фурье (табл. 4). Отметим, что решение (11) при известных шести членах ряда дает точное распределение концентраций только при значениях критерия Фурье больших 0,04. Точность расчета на начальных этапах коррозии (первые полгода) будет невелика, следовательно, рекомендуемый шаг при делении на микропроцессы составляет не менее 1 года.

По решению (11) построены профили концентраций по толщине покрытия в условиях активации механизмов проникновения агрессивных солей через защитный слой из торкрет-бетона к поверхности арматуры (рис. 2) – динамика массопереноса. Кроме этого, графически рассмотрим кинетику массопереноса по торкрет-бетонному покрытию, рассчитав изменение во времени по различным координатам торкрет-бетонного покрытия распределение безразмерных концентраций хлорид анионов (рис. 3.)

Разработана математическая модель массообменных процессов растворов агрессивных солей в железобетонной модельной пластине с торкрет-бетонным покрытием, учитывающая физико-химические особенности коррозионного разрушения, позволяющая проводить построение полей концентраций агрессивных солей, анализировать влияние основных параметров системы на массоперенос, исследовать скорость коррозии. Предложенная математическая модель нестационарного массопереноса агрессивных растворов солей и гидроксида кальция в торкрет-бетонном покрытии, учитывающая химические превращения переносимых веществ, позволяет определять теоретическое время достижения агрессивными растворами солей границы покрытия и начала разложения высокоосновных соединений цементного камня [21].

Таблица 4. Массообменный критерий Фурье, Fo_{mA} при диффузии хлорид анионов по толщине торкрет-бетонного покрытия

Время, года	Массообменный критерий Фурье, Fo_{mA}									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,1	0,224	0,056	0,025	0,014	0,009	0,006	0,005	0,003	0,003	0,002
0,5	1,120	0,280	0,124	0,070	0,045	0,031	0,023	0,017	0,014	0,011
1	2,239	0,560	0,249	0,140	0,090	0,062	0,046	0,035	0,028	0,022
2	4,478	1,120	0,498	0,280	0,179	0,124	0,091	0,070	0,055	0,045
3	6,717	1,679	0,746	0,420	0,269	0,187	0,137	0,105	0,083	0,067
4	8,956	2,239	0,995	0,560	0,358	0,249	0,183	0,140	0,111	0,090
5	11,195	2,799	1,244	0,700	0,448	0,311	0,228	0,175	0,138	0,112
6	13,434	3,359	1,493	0,840	0,537	0,373	0,274	0,210	0,166	0,134
7	15,673	3,918	1,741	0,980	0,627	0,435	0,320	0,245	0,193	0,157
8	17,912	4,478	1,990	1,120	0,716	0,498	0,366	0,280	0,221	0,179
9	20,152	5,038	2,239	1,259	0,806	0,560	0,411	0,315	0,249	0,202
10	22,391	5,598	2,488	1,399	0,896	0,622	0,457	0,350	0,276	0,224
20	44,781	11,195	4,976	2,799	1,791	1,244	0,914	0,700	0,553	0,448
30	67,172	16,793	7,464	4,198	2,687	1,866	1,371	1,050	0,829	0,672

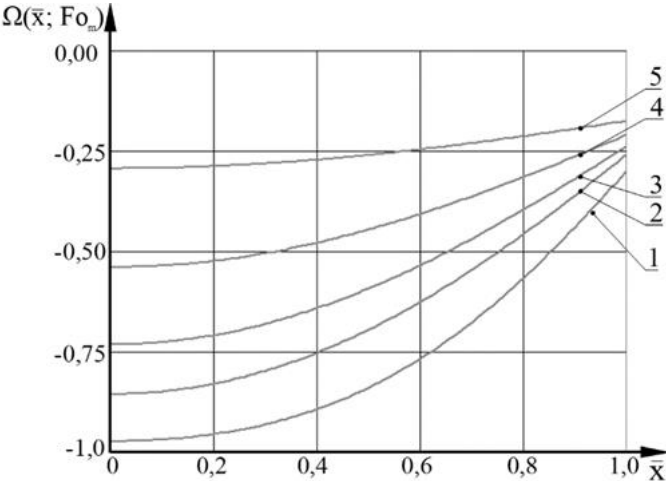


Рис. 2. Профили концентраций по толщине покрытия при $Bi_{mA} = 10$ и значениях массообменного критерия Фурье $Fo_m = 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,5; 5-1$

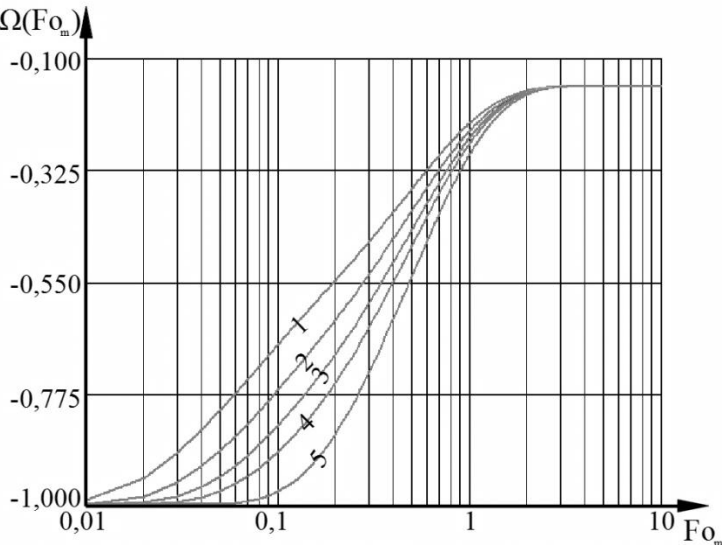


Рис. 3. Кинетические профили концентраций по безразмерной координате $\bar{x} = 1-1; 2-0,8; 3-0,6; 4-0,5; 5-0$ при $Bi_{mA} = 10$

Выводы

1. Сформулирована краевая задача нестационарного массопереноса агрессивных солей по толщине торкрет-бетонного покрытия, решение которой позволило разработать методику прогнозирования временных интервалов, в границах которых обеспечивается защита арматуры бетона, заключающаяся в построении профилей концентраций по толщине образца в условиях активации механизмов проникновения агрессивных солей через защитный слой из торкрет-бетона к поверхности арматуры и гидроксида кальция из бетона в жидкую агрессивную среду.

Список литературы

1. Инженерный и экономический анализ энергосберегающих мероприятий / Р. М. Алоян, И. В. Красильников, Н. Ю. Матвеева [и др.]. Тамбов: Изд-во ИП Першина Р. В. 2014. 165 с.
2. Новикова У. А., Строкин К. Б., Красильникова И. А. Исследование деструкции торкрет-бетона как защитного покрытия конструкций строительных объектов текстильной отрасли // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. №1(404). С. 179–185.
3. Новикова У. А., Строкин К. Б., Красильникова И. А. Коррозионная стойкость торкрет-бетона в условиях воздействия растворов солей // Строительные материалы. 2024. № 3. С. 31–36.
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. Симakov [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 малоэтажных 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. М.: 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. Fedosov, 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. Romyantseva, 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, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [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. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.

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. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория тепло- и массопереноса. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.

References

1. *Inzhenernyj i jekonomicheskij analiz jenergosberegajushhih meroprijatij* [Engineering and economic analysis of energy saving measures] / R. M. Alojjan, I. V. Krasilnikov, N. Ju. Matveeva [et al.]. Tambov: Izd-vo IP Pershina R. V., 2014. 165 p.

2. Novikova U. A., Strokin K. B., Krasilnikova I. A. Issledovanie destrukcii torkret-betona kak zashchitnogo pokrytiya konstrukcij stroitel'nyh ob'ektov tekstil'noj otrasli [Investigation of the destruction of shotcrete as a protective coating for structures of construction facilities in the textile industry]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2024, vol. 1 (404), pp. 179–185.

3. Novikova U. A., Strokin K. B., Krasilnikova I. A. Korrozionnaya stojkost' torkret-betona

v usloviyah vozdeystviya rastvorov solej [Corrosion resistance of shotcrete under the influence of salt solutions]. *Stroitel'nye materialy*, 2024, issue 3, pp. 31–36.

4. Modelirovanie parametrov tekhnologicheskogo processa suhogo torkretirovaniya poverhnostej stroitel'nykh 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 uchebnykh 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, issue 8, pp. 72–78.

6. Povyshenie seismostoikosti kamennykh konstrukcij odnostoronnnimi aplikatsiyami 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, issue 3, pp. 23–37.

7. Lesovik V. S., Fedyuk R. S., Panarin I. I. Torkret-betony i in»ekcionnye rastvory dlya kompleksnogo remonta podzemnykh sooruzhenij [Shotcrete-concretes and injection solutions for complex repair of underground structures]. *Scientific journal «Academia. Architecture and construction»*, 2023, issue 1, pp. 101–107. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-101-107

8. Magnezial'nyj nizkocementnyj torkret-beton dlya remonta futerovki pechi ogneвого rafinirovaniya medi magnezial'nyj nizkocementnyj torkret-beton dlya remonta futerovki pechi ogneвого rafinirovaniya medi anortitovyj i geksaaluminatkal'cievyj teploizolyacionnye 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, issue 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. Rumyantseva, I. V. Krasil'nikov [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 chi-

nese 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, issue 6, pp. 65–68.

12. Fam Dik Thang, Bulgakov B. I., Tang Van Lam. Primenenie melkozernistogo torkret-betona dlya stroitel'stva tunnelej metro [The use of fine-grained shotcrete for the construction of subway tunnels]. *Vestnik MGSU*, 2016, issue 7, pp. 81–90.

13. Issledovanie vliyaniya processov massoperenosa na nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstrukcij, ekspluatiruemykh v zhidkikh agressivnykh sredah [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. Rumyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 12, pp. 52–57.

14. Opredelenie korroziionnoj stoikosti torkret-betona 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, issue 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. Rumyantseva, I. V. Krasil'nikov [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», limitiruemogo 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. Rumyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2022, vol. 1-2, pp. 134–140.

17. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredah [Durability of reinforced concrete in aggressive environments] / S. N. Alekseev, F. M. Ivanov, S. Modry [et al.]. M.: Stroizdat, 1990. 320 p.

18. Geterogennye fiziko-himicheskie processy massoperenosa agressivnykh veshchestv v strukture betona zhelezobetonnykh konstrukcij,

ekspluatiruemyh 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. Krasil'nikov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 142–152.

19. Prognoz dolgovechnosti beregovykh sooruzhenij iz zhelezobetona [Forecast of durability of shore structures made of reinforced concrete] / S. V. Fedosov, B. I. Bulgakov, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*, 2022, vol. 29, issue 1, pp. 55–63.

20. *Korroziya 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., Krasil'nikov 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]. Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2021. 244 p.

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. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestiya vysshikh 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, issue 6, pp. 44–47.

24. Nestacionarnyj massoperenos v processah korrozii vtorogo vida cementnykh betonov. малыe 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 vysshikh uchebnykh 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. Krasil'nikov, V. E. Romyanceva [et al.]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij*, 2023, vol. 19, issue 4, pp. 392–409. DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-4-392-409

28. Lykov A. V. *Yavleniya perenosa v kapillyarno-poristykh telakh* [Transfer phenomena in capillary-porous bodies]. Moscow: Gostekhizdat, 1954. 296 p.

29. Opreделение vliyaniya vyazkosti nasyshayushchej zhidkosti na fiziko-mekhanicheskie harakteristiki 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. Lykov A. V., Mihajlov Yu. A. *Teoriya teplo- i massoperenosa* [Theory of heat and mass transfer]. Moscow; L.: Gosenergoizdat, 1963. 536 p.

Румынцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: varrym@gmail.com

Красильников Игорь Викторович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, доцент
E-mail: korasb@mail.ru

Krasilnikov Igor Viktorovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: korasb@mail.ru

Новикова Ульяна Александровна

Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
старший преподаватель
E-mail: denis.g.novikov@gmail.com
Novikova Ulyana Alexandrovna
Sakhalin State University,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
Senior Lecturer
E-mail: uliana.a.novikova@gmail.com

Красильникова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир
кандидат технических наук, доцент
E-mail: irinanebukina@rambler.ru
Krasilnikova Irina Aleksandrovna
Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Строкин Константин Борисович

ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
доктор экономических наук, доцент, почетный строитель Российской Федерации
директор Технического нефтегазового института, профессор кафедры строительства
E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University» Russian
Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
Doctor of Economics, Associate Professor, Honorary Builder of the Russian Federation
Director of the technical oil and gas institute, Professor of the department of construction
E-mail: strokin07@rambler.ru

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

УДК 69.05

**АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАРУЖНОЙ
ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПО ИТОГАМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

О. А. МАЛЫГИНА

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»
Российская Федерация, г. Луганск
E-mail: oksalita@mail.ru

В данной статье представлены результаты теплотехнического расчёта двух вариантов существующих наружных стен из кирпича и керамзитобетонных панелей в г. Луганске и натурного тепловизионного обследования ограждающей конструкции жилого дома после реконструкции, определены тепловые потери через ограждающую конструкцию кирпичной наружной стены с термоизоляцией. Установлено, что с течением времени в процессе эксплуатации здания показатели тепловой защиты снижаются, однако при правильном проектировании соответствуют требованиям нормативных документов по тепловой защите зданий, что подтверждается результатами тепловизионного обследования.

Ключевые слова: тепло-влажностный режим; натурное обследование; теплозащита зданий, тепловая изоляция, тепловые потери, тепловизор.

**ANALYSIS OF THE THERMAL PROPERTIES OF THE OUTDOOR
THE ENCLOSING STRUCTURE ACCORDING TO THE RESULTS OF FIELD TESTS**

O. A. MALYGINA

Luhansk State University named after Vladimir Dahl,
Russian Federation, Lugansk
E-mail: oksalita@mail.ru

This article presents the results of a thermal engineering calculation of two variants of existing exterior walls made of brick and expanded clay concrete panels in Lugansk and a full-scale thermal imaging examination of the enclosing structure of an apartment building after reconstruction, heat losses through the enclosing structure of a brick exterior wall with thermal insulation are determined. It has been established that during the operation of the building, over time, the thermal protection indicators decrease, however, with proper design, they meet the requirements of regulatory documents on thermal protection of buildings, which is confirmed by the results of a thermal imaging survey.

Key words: heat and humidity regime; full-scale inspection; thermal protection of buildings, thermal insulation, thermal losses, thermal imager.

Множество зданий, возведенных в период с 1950-х по 1990-е годы, приходится эксплуатировать в настоящее время, несмотря на их моральное устаревание и несоответствие современным требованиям в области теплоизоляции и энергосбережения. Эти сооружения были построены в соответствии со стары-

ми нормами тепловой защиты, что делает их неэффективными с точки зрения энергопотребления. И хотя они еще не достигли физического старения, вопрос их будущей судьбы становится все более актуальным.

Действующие нормативные документы требуют повышения тепловой защиты наружных ограждений зданий в целях энергосбережения и обеспечения нормативного микроклимата внутри помещения. Повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций, увеличение их сопротивления теплопередаче до нормативных значений, достигается проектированием дополнительной теплоизоляции наружных стен эффективными теплоизоляционными материалами и системами. Утепление ограждающих конструкций стен при реконструкции зданий массовой застройки выполняется устройством мокрого фасада по технологии CEREZIT или устройством навесного фасада. Самым эффективным методом утепления стен является наружное их утепление [1]. Оно позволяет сократить тепловые потери, оптимизировать тепловой баланс, улучшить микроклимат помещений существующих зданий.

В последнее время в г. Луганске Российской Федерации используются современные отечественные теплоизоляционные материалы, такие как IZOVOL, Пеноплекс и ТЕХНОФЛОР ПРОФ [2]. Эти утеплители все более популярны благодаря своим превосходным показателям теплопроводности и низкой горючести. Конечно, при выборе материалов для утепления домов и сооружений, делается упор на их качество и эффективность, и российские производители являются надежными поставщиками в этой сфере.

Следует отметить, что действующие нормы и правила проектирования теплозащиты зданий основаны на стационарных расчетах переноса тепла и влаги в ограждающих конструкциях и не учитывают в полном объеме особенности климата района строительства, что также не может гарантировать надежности теплозащиты во время эксплуатации зданий.

В процессе эксплуатации реконструированных и утепленных зданий происходят изменения, связанные с перепадами температуры и влажности. Ограждающие конструкции этих зданий состоят из различных материальных слоев с отличающимися физико-техническими свойствами. Это означает, что каждый слой будет по-разному реагировать на колебания температуры и влажности окружающей среды. Такая разнообразность усложняет прогнозирование теплотехнического состояния ограждений в условиях эксплуатации. Поэтому очень важно иметь возможность оценить фактические теплозащитные свойства этих конструкций.

Одним из способов оценки тепловых потерь является использование тепловизионного и натурного контроля. Под тепловизионным обследованием подразумевается метод

исследования, основанный на дистанционном измерении температуры на поверхности зданий и сооружений с помощью специального прибора — тепловизора. На сегодняшний день существует множество разнообразных тепловизионных систем, которые позволяют с высокой точностью и быстротой выявить места, где происходят тепловые потери. Эти системы основаны на способности тепловых камер видеть инфракрасное излучение, которое испускают объекты в зависимости от их температуры. Таким образом, специалисты могут детектировать и локализовать участки с наибольшими тепловыми потерями, что позволяет проводить дальнейшие диагностические мероприятия. Под натурным обследованием подразумевается метод исследования, включающий в себя наблюдение за поведением здания в реальных условиях эксплуатации без использования специализированного оборудования. Тепловизионный и натурный контроль являются неотъемлемой частью процесса анализа энергетической эффективности, и их использование позволяет существенно повысить эффективность управления энергоресурсами.

Проведение комплексного (тепловизионного и натурного) обследования теплотехнического состояния наружных ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий позволяет выявить несоответствие между проектными и фактическими теплотехническими характеристиками. Это несоответствие обусловлено не только возможными отклонениями от проектных решений при строительстве, но и изменением материальных слоев ограждающих конструкций в процессе эксплуатации под влиянием переменной температуры и влажности окружающей среды. Таким образом, данное исследование позволяет получить полную и объективную информацию о состоянии здания и его теплотехнической эффективности.

Целью работы является измерение уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций здания массовой застройки после реконструкции в условиях эксплуатации в г. Луганске.

Климатические условия г. Луганска характеризуются частыми оттепелями, мокрым снегом и дождями даже в зимний период года. Изменчивость погоды оказывает влияние на тепловлажное состояние ограждающих конструкций зданий и соответственно на материалы, используемые при их строительстве.

В табл. 1 приведены исходные данные для проведения исследования в г. Луганске согласно¹.

¹ СНиП 2.01.01.82 «Строительная климатология и геофизика». Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 136 с.

Таблица 1. Исходные данные для проведения исследования

Температура холодной пятидневки	-25°C
Продолжительность отопительного периода	172 суток
Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП)	3577,6 °C·сут
Относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца	81 %
Средняя температура воздуха отопительного периода	-0,8 °C
Условия эксплуатации помещения	A

В зданиях массовой застройки города Луганска преобладают кирпичные жилые и административные здания и панельные дома (панельные дома серии 141 Луганского Домостроительного Комбината). Они расположены в Ленинском и Жовтневом районах города.

Рассмотрим характерные конструкции наружных стен этих зданий.

Наружные кирпичные стены жилых зданий выполнены из силикатного кирпича, заложеного на цементно-песчаном растворе. Толщина стен составляет 510 мм с наружным

и внутренним штукатурными слоями (рис. 1, а). Панельные стены изготавливались на заводах железобетонных изделий из керамзитобетонных панелей толщиной 250–300 мм с наружным и внутренним бетонными слоями (рис. 1, б). Средний слой выполнялся из керамзитобетона плотностью 800–900 кг/м³.

Проведем теплотехнический расчёт и найдём сопротивление теплопередаче конструкции наружной стены здания, выполненной из разных материалов (рис. 2, рис. 3).

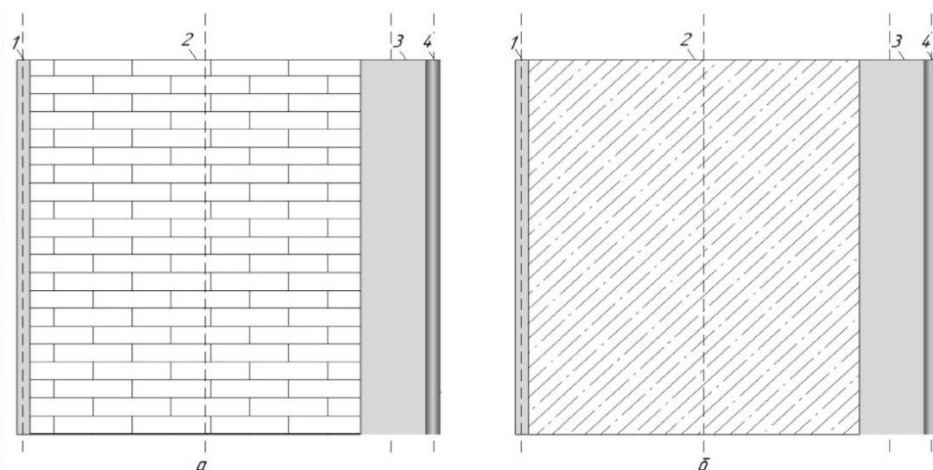


Рис. 1. Основные конструкции наружных стен существующих зданий массовой застройки в г. Луганске
а — кирпичная стена;
б — керамзитобетонная панель

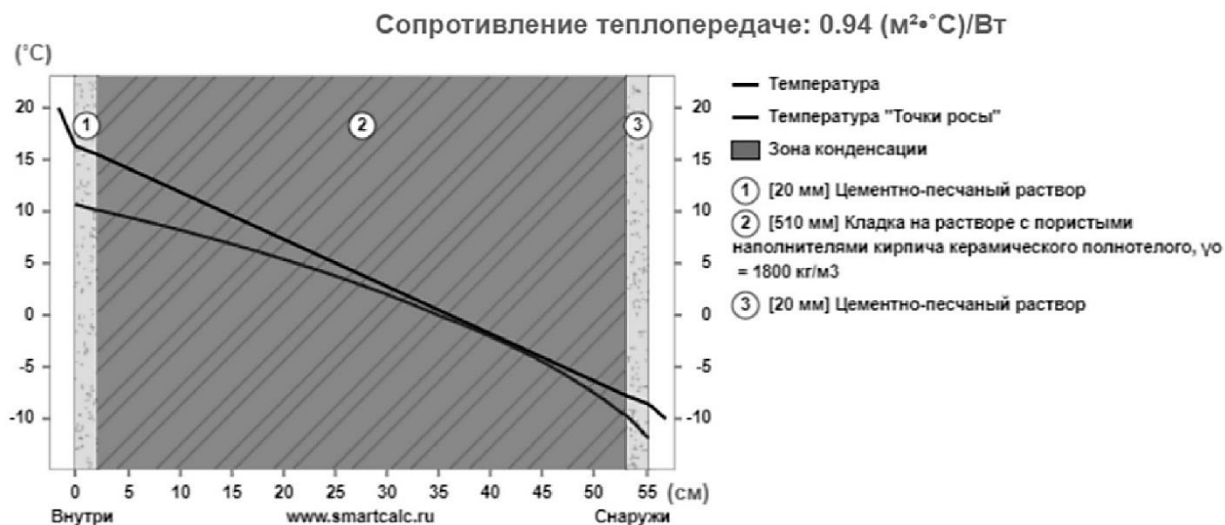


Рис. 2. Схема существующей кирпичной наружной стены с распределением температур внутри конструкции (расчёт выполнен с помощью www.smartcalc.ru)

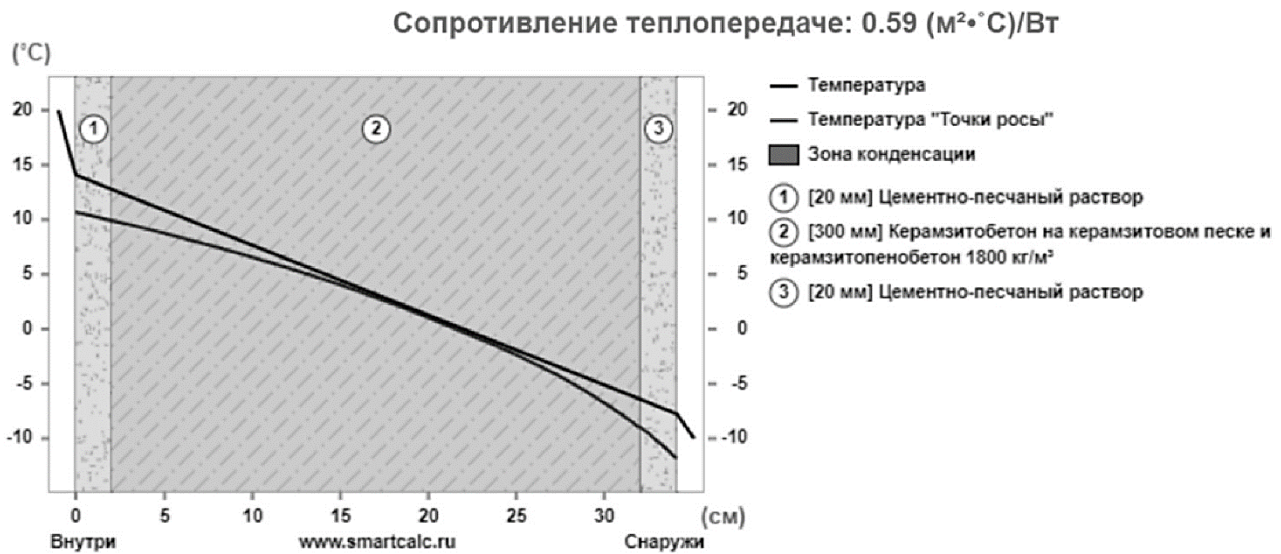


Рис. 3. Схема существующей керамзитобетонной наружной стены с распределением температур внутри конструкции (расчёт выполнен с помощью www.smartcalc.ru)

На основании теплотехнического расчёта определены расчётные сопротивления теплопередаче конструкции наружных стен зданий массовой застройки. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Согласно санитарно-гигиеническим нормам требуемое сопротивление теплопередаче равняется $R_c = 1,29 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}$. Так как, для обоих вариантов значения R_o меньше R_c , то ограждающая конструкция не удовлетворяет нормам по тепловой защите и эксплуатация такой конструкции недопустима, поэтому все здания массовой застройки необходимо дополнительно утеплять эффективными теплоизоляционными материалами, доступными на территории Луганской народной республики. Как показал теплотехнический расчет при теплоизоляции наружных кирпичных и панельных стен изоляцией IZOVOL, Пеноплексом и ТЕХНОФЛОРОМ ПРОФ (рис. 4), все значения расчетных сопротивлений R_o больше R_c , что удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

Существующие нормы практически не учитывают колебания температуры и влажности внутри конструкции из-за особенностей климата и других эксплуатационных факторов (нестабильность вентиляции, аварии систем отопления и водоснабжения, нестационарные процессы теплопередачи внутри конструкций и т. д.). Повышение влажности строительных материалов приводит к увеличению их коэффициента теплопроводности, так как воздух в порах замещается жидкой влагой, обладающей более высоким коэффициентом теплопроводности. Следовательно, появление и накопление влаги в конструкции приводит к ее разрушению, снижению теплозащиты, появлению грибковой плесени на поверхности ограждений и т. д.

Однако в реальных условиях эксплуатации ограждающих конструкций влажностный режим может значительно отличаться от предполагаемого при расчете. В результате эксплуатации ограждающие конструкции здания теряют свои первоначальные теплотехнические характеристики.

Таблица 2. Результаты теплотехнического расчёта

Тип наружной ограждающей стены	Расчётное сопротивление теплопередаче конструкции $R_o, \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}$
Кирпичная	0,94
Керамзитобетонная	0,59

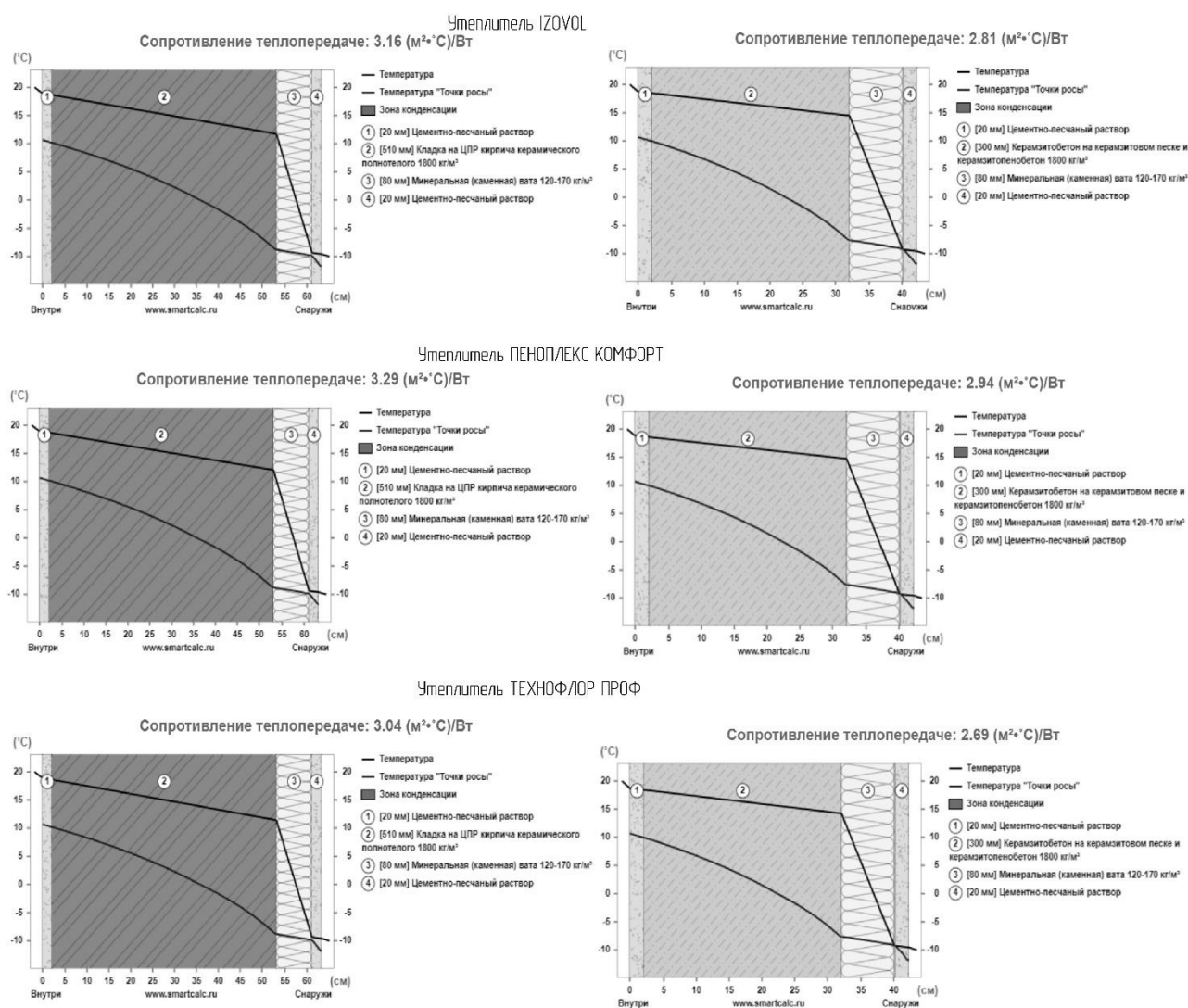


Рис. 4. Варианты утепления кирпичной и керамзитобетонной наружной стены с распределением температур внутри конструкции (расчёт выполнен с помощью www.smartcalc.ru)

Перед принятием решения о проведении полного ремонта здания проведено обследование конструкций здания, которое включало в себя использование различных технических и программных средств для сбора и анализа информации о различных параметрах строительных конструкций. После этого выполнена оценка технического состояния зданий и сооружений².

Проведенное обследование включало в себя измерение уровня теплозащиты наружных ограждающих конструкций в соответствии с требованиями³. Процесс натурного обследо-

вания и обработки результатов проводился в соответствии с методикой⁴.

Тепловизионная съемка позволила наглядно выявить дефекты, связанные с повышенной теплопроводностью и воздухопроницаемостью, включая дефекты конструкций и материалов, стыки между отдельными элементами конструкций, участки повышенной экс- и инфильтрации, отслоение облицовки, штукатурки [3–10]. Тепловизионное обследование позволило легко решить такие задачи: определение тепловых потерь, определение

² ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния, М., 2011.

³ СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуальная редакция СНиП 23-02-2003, М., 2012.

⁴ «Комплексная методика контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений», утвержденная Госстроем РФ и рекомендованная для использования при проведении контроля качества тепловой изоляции в натуральных условиях (письмо Госстроя России № 9-14/932 от 23.12.2002)

теплотехнических качеств, определение рекомендаций для повышения качества конструкции. Тепловизионное обследование позволяет сэкономить затраты на проведения ремонта.

Тепловизионная анализ позволил проанализировать функционирование системы вентиляции, оценить скорость проникновения воздуха и обнаружить проблемы с теплоизоляцией ограждающих конструкций, вызванные следующими факторами:

- несоблюдений процесса производства строительных материалов, правил их хранения, транспортировки дизайнерских недочетов;
- несоответствий технологии при возведении зданий;
- неправильной эксплуатационной работы;
- ошибок при проектировании.

Все эти факторы могут вызывать преждевременное ухудшение теплозащитных свойств в определенных местах ограждающих конструкций. Воздействие погодных и естественно-климатических условий, таких как ветер, атмосферные осадки, циклы тепло-холод и влажность, ускоряют деградацию теплозащитных свойств некоторых участков ограждающих конструкций. В результате этого микроклимат внутри зданий ухудшается, а расход топлива для обогрева увеличивается из-за возрастания теплопотерь.

Тепловизионный контроль ограждающих включал в себя:

- осмотр объекта контроля, осуществляемый с применением тепловизора, с сохранением термограмм в памяти тепловизора;
- проведение совокупного термографического исследования наружных и/или внутренних поверхностей ограждающих конструкций, с сохранением термограмм и обязательным составлением отчета о результате термографической инспекции;
- подробное термографирование выбранных участков внешних и/или внутренних поверхностей ограждающих конструкций с записью термограмм в память тепловизора с обязательным составлением отчета о проведенном термографическом обследовании.

Для подтверждения результатов математического прогнозирования влияния влаги на состояние тепловой изоляции в процессе длительной эксплуатации после реконструкции здания было произведено тепловизионное обследование 5-ти этажного жилого дома через 14 лет после проведения утепления ограждающих конструкций, расположенного по адресу г. Луганск, ул. Газеты Луганской Правды, 139 (постройка 1965 года, реконструкция – 2010 год). Дата тепловизионного обследования: 07.12.2023 г.

Исходные данные для проведения исследования (в соответствии с рекомендациями ГОСТ⁵ и ГОСТ38) включали такие параметры:

- температура наружного воздуха $t_n = -2,0^\circ\text{C}$;
- температура воздуха внутри помещений $10,0...22,0^\circ\text{C}$;
- относительная влажность атмосферного воздуха 78,4 %;
- относительная влажность внутри помещений 60,3 %;
- скорость ветра 2...4 м/с;
- отсутствие прямого солнечного света;
- облачная погода.

Определение теплозащитных свойств ограждающих конструкций и теплоаккумулирующей способности здания основано на мониторинге теплового режима ограждающих конструкций в натурных условиях эксплуатации с использованием контактных датчиков температуры внутреннего и наружного воздуха, а также датчиков плотности теплового потока через ограждающие конструкции. Температура и плотность тепловых потоков измеряются непрерывно 24 часа в сутки с периодичностью не менее 30 минут.

Анализ термограмм направлен на выявление потенциальных причин температурных аномалий. Такие аномалии могут быть связаны с нарушением теплоизоляции ограждающих конструкций или ухудшением качества данной изоляции. Исследование термограмм позволяет точно определить и локализовать возможные проблемы, что в свою очередь позволяет принять соответствующие меры для устранения или предотвращения дальнейшего ухудшения ситуации. Результаты анализа термограмм имеют важное значение для обеспечения эффективной теплоизоляции и сохранения оптимальных условий в строительных конструкциях.

Показатели тепловой защиты рассчитывались в соответствии с требованиями 39 и строительными правилами⁶.

Для выполнения работ по комплексному тепловизионному обследованию использован профессиональный тепловизор 256x192 Milesee TR256E (рис. 5). Способен распознавать температуру от -20°C до $+50^\circ\text{C}$.

⁵ ГОСТ26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, М., 1985.

⁶ СП 23-101-2004 Строительная теплотехника. Проектирование тепловой защиты зданий, М., 2004.



Рис. 5. Тепловизор Milesee TR256E

В рамках натурных испытаний проведена наружная тепловизионная съемка ограждающих конструкций здания. Результаты обследования выполнены в соответствии с ГОСТ⁷ и СНиП⁸ и другими релевантными стандартами. На рис. 6 представлены некоторые результаты термографирования жилого дома.

Термограмма сопровождается фотографией и температурной шкалой обследованных конструкций. Температурная шкала устанавливает соответствие цвета на термограмме температуре на поверхности, для ряда термограмм может быть приведена одна температурная шкала.

Анализ приведенной выше термограммы поверхностей ограждающих конструкций позволил сделать по температурным значениям точек измерения следующие выводы: термограмма наружных поверхностей фасада не содержит отличий по цветовой гамме, что свидетельствует об отсутствии дефектов, допущенных при выполнении работ по монтажу утеплителя (пропусков, щелей между плитами утеплителя).



а



б

Рис. 6. Результаты тепловизионного обследования: а – фрагмент стены; б – термограмма

Тепловизионная съемка обнаружила общую равномерную картину распределения температуры на наружной поверхности фасада. Анализ полученных данных позволяет сделать уверенный вывод о том, что количество потерь тепла в данной конструкции является незначительным.

При эксплуатации утеплители, особенно из минераловатных плит [3], подвергаются замораживанию-оттаиванию, увлажнению-высушиванию, а также долговременному воздействию негативных или позитивных температур, агрессивных сред и различных нагрузок. Все эти факторы существенно влияют на долговечность и надежность работы таких конструкций. Для обеспечения стойкости материалов к таким воздействиям требуется разработка и использование специальных технологий, а

также применение соответствующих мер защиты. Только в таком случае можно гарантировать долговечность и надежность работы конструкций, в которых используются минераловатные плиты.

Одним из главных факторов, определяющих прочность и стабильность утеплителей на протяжении периода эксплуатации, является сохранение коэффициента теплопроводности. Этот показатель может изменяться в зависимости от многих факторов, которые воз-

⁷ ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций, М., 1985.

⁸ СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*, М., 2012.

действуют на теплоизоляционный материал, но особое значение имеет его взаимодействие с перепадами температуры и влажности.

Рассмотрим пример утепления кирпичной стены (рис. 7), которая была в эксплуатации после реконструкции в течение 14 лет. Для проведения теплотехнического расчета были использованы значения теплотехнических по-

казателей элементов стенового ограждения, основанные на экспериментальных данных и математическом моделировании.

В табл. 3 представлены результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с учетом увлажнения теплоизоляции в процессе эксплуатации.

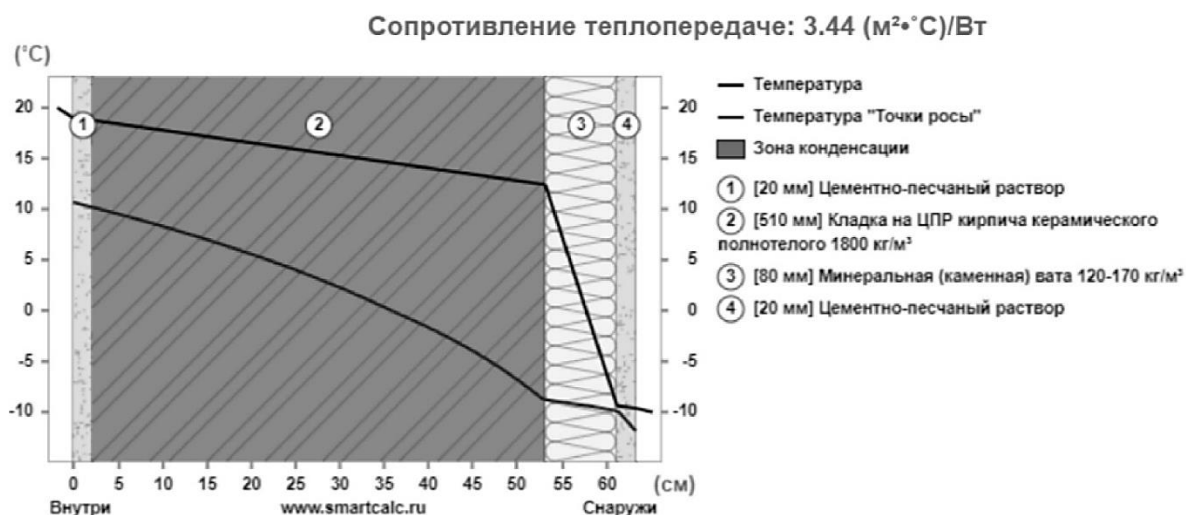


Рис. 7. Схема утепленной кирпичной наружной стены с распределением температур внутри конструкции (расчёт произведён с помощью www.smartcalc.ru)

Таблица 3. Приведенное сопротивление теплопередаче R элементов ограждающих конструкций, м²·°С/Вт

№ п/п	Элемент наружных ограждающих конструкций	Приведенное сопротивление теплопередаче R , м²·°С/Вт	
		Нормативное значение	Фактическое значение
1	Цокольный этаж	2,8	3,09
2	Жилые помещения	2,8	4,39
3	Жилые помещения	2,8	4,05

Для нахождения поверхностной плотности теплового потока применим закон Фурье по определению тепловых потерь на основе измеренных температурных разностей:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где q — поверхностная плотность теплового потока, Вт/м²;

λ — коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м·°С (для кладки на цементно-песчаном растворе кирпича керамического полнотелого плотностью 1800 кг/м³; $\lambda = 0,81 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$;

для керамзитобетона на керамзитовом песке 1800 кг/м³; $\lambda = 0,8 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$);

δ — толщина наружной стены, м, $\delta_1 = 0,510 \text{ м}$ для кирпичной стены и $\delta_2 = 0,300 \text{ м}$ для керамзитобетонной (см. рис. 1);

Δt — температурный перепад $\Delta t = t_1 - t_2$ (t_1 и t_2 — температуры на границах стены $t_1 = +4,7^\circ\text{С}$ и $t_2 = +25^\circ\text{С}$, взятые по результатам тепловизионного обследования, которое учитывает время и погодные условия проведения погодного обследования). Тогда, $\Delta t = 20,3^\circ\text{С}$;

Подставив значения в (1), получим:
 $q_1 = 32,24 \text{ Вт/м}^2$ и $q_2 = 54,13 \text{ Вт/м}^2$.

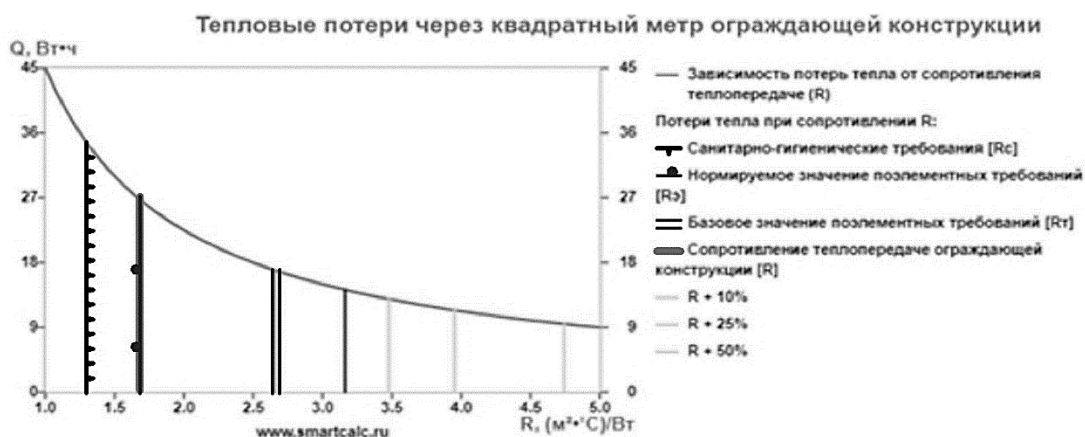
Теперь, зная q , определим общее количество теплоты, переданной за 1 час через стенку поверхности F (м^2), по формуле [11]:

$$\begin{aligned} Q_1 &= q_1 \cdot F = 32,24 \cdot 0,78 = 25,15 \text{ Вт;} \\ Q_2 &= q_2 \cdot F = 54,13 \cdot 0,78 = 42,22 \text{ Вт,} \end{aligned} \quad (2)$$

где — площадь стенки по температурной шкале в прицельной точке в виде треугольника ($F = 0,78 \text{ м}^2$).

Можно сделать вывод, что в пересчете на 1 м^2 при температурном перепаде $\Delta t = 20,3 \text{ }^\circ\text{C}$ тепловые потери составили 25,15 Вт и 42,22 Вт соответственно для кирпичной и керамзитобетонной стен.

На рис. 8 представлены результаты расчета тепловых потерь через квадратный метр утепленной ограждающей конструкции с учетом тепло-влажностного режима работы конструкции в период эксплуатации. Как видно, полученные результаты вполне сопоставимы с результатами, полученными в ходе тепловизионного обследования здания.



Потери тепла через 1 м^2 за один час при сопротивлении теплопередаче ($\text{Вт}\cdot\text{ч}$)

Сопротивление теплопередаче	R	$\pm R, \%$	Q	$\pm Q, \text{ Вт}\cdot\text{ч}$
Санитарно-гигиенические требования [Rc]	1.29	-59.10	34.80	20.57
Нормируемое значение поэлементных требований [Rэ]	1.67	-47.16	26.93	12.70
Базовое значение поэлементных требований [Rт]	2.65	-16.12	16.97	2.74
Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции [R]	3.16	0.00	14.23	0.00
R + 10%	3.48	10.00	12.94	-1.29
R + 25%	3.95	25.00	11.39	-2.85
R + 50%	4.74	50.00	9.49	-4.74
R + 100%	6.32	100.00	7.12	-7.12

Потери тепла через 1 м^2 за отопительный сезон

27.16 кВт·ч

Потери тепла через 1 м^2 за 1 час при температуре самой холодной пятидневки

14.23 Вт·ч

Рис. 8. Тепловые потери утепленной кирпичной стены с учетом тепло-влажностного переноса в процессе эксплуатации

Заключение

При выполнении работ по тепловизионному обследованию здания определено фактическое значение теплопроводности наружной стены после термоизоляции в процессе реконструкции, а также рассчитано её сопротивление теплопередаче с учетом тепло-влажностного переноса в ограждающей конструкции. Участки ограждающих конструкций с низкой температурой не были обнаружены. В процес-

се исследования были выполнены расчеты теплотехнических параметров ограждающих конструкций.

Полученное значение сопротивления теплопередаче стен соответствует требованиям санитарно-гигиенических норм в области теплозащиты. Это означает, что стены обладают достаточной эффективностью в сохранении тепла внутри помещений, а также в

предотвращении проникновения холодного воздуха и перепадов температур.

Теплоаккумуляционная способность здания и теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций являются удовлетворительными. Расчетная скорость падения температуры воздуха в помещениях не превышает установленных норм⁹.

Результаты тепловизионного обследования подтвердили результаты теплотехнических расчётов, выполненных с учетом увлажнения теплоизоляционного материала в процессе эксплуатации.

Исследования подтвердили, что при использовании утеплителя его теплотехнические свойства с течением времени ухудшаются, что в конечном итоге приводит к увеличению тепловых потерь в процессе эксплуатации. Для предотвращения этого имеется несколько вариантов при проектировании термозащиты здания. Первым вариантом является увеличение толщины утеплителя, учитывая его подверженность увлажнению. Это позволяет более эффективно сохранять тепловую энергию

внутри помещений. Однако такой подход может быть затруднительным из-за ограниченности пространства или финансовых ресурсов. Вторым вариантом является применение более эффективных утеплителей, которые имеют лучшие показатели теплотехнической эффективности. Это может включать в себя использование новых материалов или улучшение структуры уже существующих. При правильном подборе утеплителя и его применении можно снизить тепловые потери и обеспечить более эффективное теплоизолирование здания.

Таким образом, применение комплексных тепловизионных обследований, основанных на сочетании контактных и бесконтактных измерений температуры и других вспомогательных параметров ограждающей конструкции и окружающей среды на базе использования современных расчетных моделей теплопередачи в нестационарных условиях изменения температуры среды, решает задачу определения фактических теплопотерь через наружные ограждающие конструкции зданий в реальных условиях их эксплуатации.

Список литературы

1. Засько В. В., Малыгина О. А. Анализ конструктивных решений систем теплоизоляции наружных стен // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. 2023. № 3. С. 77–86.

2. Засько В. В., Малыгина О. А. Анализ современных теплоизоляционных материалов в строительстве // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. 2023. № 4. С. 119–126.

3. Засько В. В., Малыгина О. А., Сорокин В. А. Анализ влияния внешних воздействий на теплофизические и длительные механические свойства минераловатных плит // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. 2023. № 4. С. 110–118.

4. Вавилов В. П., Лариошина И. А. Роль тепловидения при проведении энергоаудита и составлении энергопаспортов строительных сооружений // Вестник науки Сибири. 2012. № 2 (3). С. 33–40.

5. Вавилов В. П., Лариошина И. А. Методические погрешности тепловизионного энергоаудита строительных сооружений // Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6). С. 49–53.

6. Вавилов В. П., Лариошина И. А. Методические аспекты тепловизионного энергоаудита // Контроль. Диагностика. 2012. № 9. С. 75–79.

7. Власов А. Б. Тепловизионная диагностика объектов электро- и теплоэнергетики (диагностические модели). Мурманск: Изд-во Мурманского государственного технического университета, 2005. 66 с.

8. Енюшин В. Н., Камалтдинова Э. М. Термографическое обследование каркасного дома // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 86–93.

9. Вавилов В. П., Лариошина И. А., Чулков А. О. Опыт тепловизионного энергетического аудита зданий // Контроль. Диагностика. 2013. № 6. С. 69–71.

10. Тихомиров К. В., Сергеев Э. С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. М.: ООО «БАСТЕТ», 2007. 480 с.

11. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9–13.

⁹ МДС-41-6.2000 «Организационно-методические рекомендации по подготовке к проведению отопительного периода и повышению надежности систем коммунального теплоснабжения в городах и населенных пунктах РФ»

References

1. Zasko V. V., Malygina O. A. Analiz konstruktivnih reshenii sistem teploizolyacii narujnih sten [Analysis of structural solutions for thermal insulation systems of external walls]. *Resursosberegayushchiye tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniyem materialov v mashinostroyenii*, 2023, issue 3, pp. 77–86.
2. Zasko V. V., Malygina O. A. Analiz sovremennih teploizolyacionnih materialov v stroitelstve [Analysis of modern thermal insulation materials in construction]. *Resursosberegayushchiye tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniyem materialov v mashinostroyenii*, 2023, issue 4, pp. 119–126.
3. Zasko V. V., Malygina O. A., Sorokin V. A. Analiz vliyaniya vneshnih vozddeystvii na teplofizicheskie i dlitelnie mehanicheskie svoystva mineralovatnih plit [Analysis of the influence of external influences on the thermophysical and long-term mechanical properties of mineral wool slabs]. *Resursosberegayushchiye tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniyem materialov v mashinostroyenii*, 2023, issue 4, pp. 110–118.
4. Vavilov V. P., Larioshina I. A. Rol teplovideniya pri provedenii energoaudita i sostavlenii energopasportov stroitelnyh sooruzhenij [The role of thermal imaging in conducting energy audits and compiling energy certificates for construction structures]. *Vestnik nauki Sibiri*, 2012, vol. 2 (3), pp. 33–40.
5. Vavilov V. P., Larioshina I. A. Metodicheskie pogreshnosti teplovizionnogo energoaudita stroitelnyh sooruzhenij [Methodological errors of thermal imaging energy audit of construction structures]. *Vestnik nauki Sibiri*, 2012, vol. 5 (6), pp. 49–53.
6. Vavilov V. P., Larioshina I. A. Metodicheskie aspekty teplovizionnogo energoaudita [Methodological aspects of thermal imaging energy audit]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2012, issue 9, pp. 75–79.
7. Vlasov A. B. *Teplovizionnaya diagnostika obektov elektro- i teploenergetiki (diagnosticheskie modeli)* [Thermal imaging diagnostics of electrical and thermal power facilities (diagnostic models)]. Murmansk: Izd-vo Murmanskogo gosudarstv-stvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2005. 66 p.
8. Enyushin V. N., Kamaltdinova E. M. Termograficheskoe obsledovanie karkasnogo doma [Thermographic examination of a frame house]. *Izvestiya KGASU*, 2011, vol. 2 (16), pp. 86–93.
9. Vavilov V. P., Larioshina I. A., Chulkov A. O. Opyt teplovizionnogo energeticheskogo audita zdaniy [The experience of thermal imaging energy audit of buildings]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2013, issue 6, pp. 69–71.
10. Tikhomirov K. V., Sergeenko E. S. *Teplotehnika teplogazosnabjenie i ventilyaciya* [Heat engineering, heat and gas supply and ventilation]. Moscow: ООО «BASTET», 2007. 480 p.
11. Gorshkov A. S. Energoeffektivnost' v stroitel'stve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu energopotrebleniya zdaniy [Energy efficiency in construction: issues of regulation and measures to reduce energy consumption in buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, 2010, issue 1, pp. 9–13.

Малыгина Оксана Александровна

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Российская Федерация, г. Луганск

Старший преподаватель кафедры

E-mail: oksalita@mail.ru

Malygina Oksana Alexandrovna

Luhansk State University named after Vladimir Dahl

The Russian Federation, Lugansk

Senior lecturer of the Department

E-mail: oksalita@mail.ru

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

УДК 355/359.07

**АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ПОИСКЕ УКЛОНЯЮЩИХСЯ СУДОВ СОТРУДНИКАМИ ГИМС**

Д. А. КОЛЕРОВ, В. И. КУВАТОВ, Г. Н. ЗАВОДСКОВ, А. Ю. ТУМАНОВ*

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

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

E-mail: dima11rus@inbox.ru, ncuks73@mail.ru, kyb.valery@yandex.ru, toumanov@mail.ru.

Разработан алгоритм поддержки принятия решений при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС на основе положений теории поиска и теории обыкновенных дифференциальных уравнений. На одном из этапов алгоритма для решения дифференциального уравнения предлагается применение формулы Бернулли.

Представлена актуальная организационная структура Государственной инспекции по маломерным судам. Показано место полученных результатов в этой структуре. Предложенный в статье алгоритм предназначен для применения в инспекторских подразделениях центров ГИМС, а именно в отделах, отделениях, участках и группах. Но после небольшой адаптации его можно применять для поиска браконьеров и решения ряда других задач, в которых осуществляется поиск уклоняющихся судов на водоёмах Российской Федерации.

Внедрение разработанного алгоритма позволит оптимизировать процесс обнаружения судов с потенциальными нарушителями, а его программная реализация будет способствовать сокращению временных затрат на проведение необходимых итераций и снижению когнитивной нагрузки на сотрудников ГИМС. Полученные результаты предлагается внедрять на региональном уровне в центры ГИМС МЧС России по субъектам Российской Федерации.

Ключевые слова: алгоритм, поддержка принятия решений, поиск, уклоняющиеся суда, поиск уклоняющихся судов, ГИМС.

**ALGORITHM FOR SUPPORTING DECISION MAKING WHEN SEARCHING FOR EVADERING VESSELS
BY EMPLOYEES OF THE STATE INSPECTION FOR SMALL VESSELS EMERCOM OF RUSSIA**

D. A. KOLEROV, V. I. KUVATOV, G. N. ZAVODSKOV, A. Yu. TUMANOV*

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

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Russian Federation, Saint-Petersburg

E-mail: dima11rus@inbox.ru, ncuks73@mail.ru, kyb.valery@yandex.ru, toumanov@mail.ru.

An algorithm has been developed to support decision-making when searching for evading vessels by State Inspectorate for Small Vessels employees based on the provisions of search theory and the theory of ordinary differential equations. At one of the stages of the algorithm, the use of Bernoulli's formula is proposed to solve the differential equation.

The current organizational structure of the State Inspectorate for Small Vessels is presented. The place of the obtained results in this structure is shown. The algorithm proposed in the article is intended for use in the inspection units of State Inspectorate for Small Vessels centers, namely in departments, divisions, sections and groups. But after a little adaptation, it can be used to search for poachers and solve a number

of other problems in which the search for evading ships on water bodies of the Russian Federation is carried out.

The implementation of the developed algorithm will optimize the process of detecting vessels with potential violators, and its software implementation will help reduce the time spent on carrying out the necessary iterations and reduce the cognitive load on State Inspectorate for Small Vessels employees. It is proposed to implement the results obtained at the regional level in the State Inspectorate for Small Vessels centers of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the constituent entities of the Russian Federation.

Key words: algorithm, decision support, search, evading ships, search for evading ships, State Inspectorate for Small Vessels, SISV.

Введение

Активное развитие технологического прогресса привело к увеличению общего числа и доступности маломерных судов на водоёмах Российской Федерации (РФ). Анализ статистических данных показывает, что подавляющее большинство аварий и происшествий на воде связано с их участием [1]. Контроль над соблюдением правил навигации, осуществление государственного надзора за маломерными судами и обеспечение безопасности людей на водных объектах в РФ возложено на Государственную инспекцию по маломерным судам (ГИМС). К сожалению, часть судоводителей, так или иначе, нарушают требования, установленные действующим законодательством, и подвергают опасности не только себя, но и остальные суда. Одной из наиболее действенных мер, по пресечению правонарушений является патрулирование акватории. Однако сил и средств для круглосуточного патрулирования недостаточно. Задача поиска судов с потенциальными нарушителями, как одна из составных частей обеспечения безопасности на водных объектах, является особенно актуальной в связи с ростом общего числа судов на воде.

Проведение аналитического обзора научных исследований, проводимых в данном направлении, показало, что на текущий момент происходит активное внедрение БПЛА для поиска браконьеров [2], мониторинга водных объектов [3] и решения других задач [4]. Часть работ посвящена разработке моделей поиска судов, терпящих бедствие [5, 6]. В статьях [7, 8] предложены способы проведения поисковых операций и обследования района поиска судна, терпящего бедствие.

Исследования зарубежных авторов посвящены решению задач поиска и спасения людей на море. Они связаны с разработкой соответствующих систем поддержки принятия решений (ППР) [9], использованием данных дистанционного зондирования земли для получения информации о местоположении судна [10], внедрением элементов искусственного интеллекта в системы ППР [11, 12]. Однако остаётся ряд проблем, связанных с несовершенством управления при поиске судов [13].

Как было сказано ранее, одной из актуальных является проблема, связанная с недостаточным количеством сотрудников ГИМС и их высокая загруженность, что приводит к значительному снижению общего объёма часов, затрачиваемых на патрулирование акватории. Однако она частично может быть решена за счёт разработки соответствующих моделей и алгоритмов ППР. Кроме того, часть судов с потенциальными нарушителями используют бинокли и, заметив сотрудников федеральных органов исполнительной власти стремятся уклониться (скрыться) из их поля зрения и избежать наказания. Цель настоящей работы заключается в разработке алгоритма ППР при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС.

В связи с переходом на трехуровневую систему управления в РФ основными силами и средствами (СиС), осуществляющими функции и задачи, возложенные на ГИМС непосредственно на водных объектах нашей страны, осуществляют центры ГИМС МЧС России по субъектам РФ. При этом органами управления в пределах субъекта является Главное управление (ГУ) МЧС России по субъекту РФ. Организационная структура ГИМС представлена на рис. 1.

Предложенный в статье алгоритм предназначен для применения в инспекторских подразделениях центров ГИМС, а именно в отделах, отделениях, участках и группах.

Материалы и методы исследования

Анализ разработанных на текущий момент моделей поиска [6] показал, что они направлены на обнаружение неподвижных судов, либо перемещающихся независимо от поведения других судов, в том числе ГИМС. Между тем реальные ситуации, складывающиеся при патрулировании акватории несколько различны. Кроме того, потенциальные нарушители имеют различные средства наблюдения. Обнаружив патрулирующее акваторию судно, они стремятся уклониться от обнаружения их сотрудниками ГИМС или осуществить отрыв от слежения.



Рис. 1. Организационная структура ГИМС

На практике возможны 3 сценария:

1) сотрудники ГИМС, осуществляющие патрулирование, всегда обнаруживают потенциальных нарушителей первыми;

2) потенциальные нарушители всегда обнаруживают сотрудников ГИМС, осуществляющих патрулирование первыми и имеют перед ними преимущество в скорости;

3) потенциальные нарушители всегда обнаруживают сотрудников ГИМС, осуществляющих патрулирование первыми, но не имеют перед ними преимущества в скорости.

Первый сценарий подробно описан, в моделях поиска с постоянной, убывающей и возрастающей интенсивностью [5, 6]. В них ширина полосы поиска обычно равняется приведенной дальности средств обнаружения потенциальных нарушителей. Это означает, что их уклонение от обнаружения невозможно и сотрудники ГИМС всегда обнаруживают их первыми. При втором сценарии обнаружение потенциальных нарушителей практически невозможно, так как они всегда смогут скрыться, имея запас в скорости, и поэтому разрабатывать модели поиска здесь не имеет смысла. Третий сценарий наиболее вероятен, так как современные патрульные суда сотрудников ГИМС имеют высокие показатели мореходных характеристик и смогут без труда догнать судно потенциальных нарушителей.

Как правило, при обнаружении судна с потенциальными нарушителями сотрудники

ГИМС осуществляют за ним слежение, с целью выявления различных нарушений (выключенных ходовых огней, нарушения правил маневрирования и т.д.). В процессе слежения в силу различных обстоятельств судно, за которым осуществляется слежение, может уклониться и скрыться из поля видимости. Для того, чтобы действия сотрудников ГИМС при возникновении такой ситуации были максимально эффективными необходима разработка соответствующих моделей и алгоритмов ППР.

При разработке, описанного в настоящей статье алгоритма использовалась теория графов, на основе которой разработаны дифференциальные уравнения, описывающие процесс поиска. Для расчёта вероятности слежения за судном с потенциальными нарушителями в произвольный момент времени t , при условии, что в начальный момент времени слежение отсутствовало, была применена формула Бернулли.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе слежения сотрудники ГИМС, в силу тех или иных причин могут потерять контакт с судном, за которым они наблюдали. Тогда они приступают к вторичному поиску, а затем, если вторичный поиск не привел к восстановлению контакта — переходят к первичному поиску. Таким образом, сотрудни-

ки ГИМС, в процессе слежения, находятся в одном из трех возможных состояний: состоянии первичного поиска, обозначенном на рис. 2 цифрой 0, состоянии вторичного поиска — 1, состоянии слежения — 2.

Обозначим λ_1 — интенсивность обнаружения судна при первичном поиске, λ_2 — интенсивность обнаружения судна при вторичном поиске и μ_1 — интенсивность потерь контактов с отслеживаемым объектом, μ_2 — интенсивность перехода сотрудников ГИМС из состояния вторичного поиска в состояние первичного поиска.

В соответствии с известной методикой [5] составим по графу, изображенному на рис. 2, систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -P_0(t) \cdot \lambda_1 + P_2(t) \cdot \mu_2,$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t) \cdot \mu_1 + P_0(t) \cdot \lambda_1 + P_2(t) \cdot \lambda_2,$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -P_2(t) \cdot [\lambda_2 + \mu_2] + P_1(t) \cdot \mu_1$$

и уравнение нормировки:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1.$$

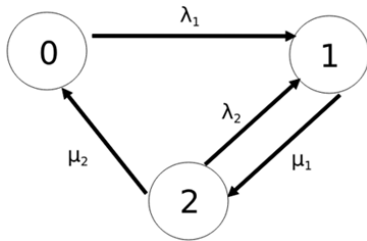


Рис. 2. Блок – Граф слежения

Не учитывая одно (любое) из дифференциальных уравнений, как избыточное, и решив полученную систему, найдем вероятность слежения за судном в любой момент времени $P_1(t)$.

Главный недостаток приведенной модели заключается в том, что она не имеет простого аналитического решения. На практике целесообразнее применение моделей, в которых сотрудники ГИМС при потере контакта осуществляют вторичный поиск до тех пор, пока судно не будет обнаружено. Граф такого слежения может быть получен из графа слежения, отображенного на рис. 2, путем удаления стрелки μ_2 .

Рассмотрим еще более простую, но также применяемую на практике, модель.

Пусть патрулирующее акваторию судно ГИМС, сразу же после потери контакта переходит к первичному поиску судна потенциальных нарушителей. Допустим, что поток обнаружений и поток потерь контактов являются ординарными, а интенсивности обнаружения и потери контактов — постоянные величины.

Граф, динамики переходов в данной модели изображен на рис. 3. На этом рисунке символом П обозначено состояние поиска сотрудниками ГИМС потенциальных нарушителей, символом С — слежение, символом λ — интенсивность обнаружения таких судов, а символом μ — интенсивность потерь контакта с ним.

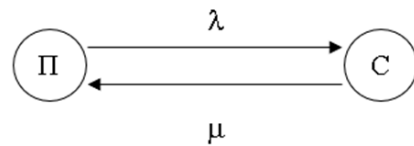


Рис. 3. Граф слежения без учета вторичного поиска

Пусть $P_c(t/t_0)$ — вероятность слежения за судном на момент времени t при условии, что в момент времени t_0 слежение было, тогда $P_n(t/t_0)$ — вероятность поиска. Слежение за судном в момент времени $(t + dt)$ будет осуществляться в том и только в том случае, если оно велось, в момент t и за интервал dt контакт не был потерян, либо если в момент t производился поиск и в течение интервала dt судно обнаружено. В условиях ординарности потоков обнаружений и потерь контактов, вероятность потери контакта за интервал dt равна $(1 - \mu dt)$, а вероятность обнаружения объекта за тот же интервал равна λdt . Следовательно:

$$P_c(t + dt/t_0) = P_c(t/t_0) \cdot (1 - \mu \cdot dt) + P_n(t/t_0) \cdot \lambda \cdot dt. \quad (1)$$

Раскрыв правую часть выражения (1), и переместив $P_c(t/t_0)$ в левую часть, получим:

$$P_c(t + dt/t_0) - P_c(t/t_0) = -P_c(t/t_0) \cdot \mu \cdot dt + P_n(t/t_0) \cdot \lambda \cdot dt,$$

и поделим обе части на dt , получим:

$$\frac{dP_c(t/t_0)}{dt} = -P_c(t/t_0) \cdot \mu + P_n(t/t_0) \cdot \lambda.$$

Используя условие нормировки, заменим $P_n(t/t_0)$ на $[1 - P_c(t/t_0)]$. В результате по-

лучим линейное дифференциальное уравнение первого порядка относительно $P_c(t/t_0)$:

$$\frac{dP_c(t/t_0)}{dt} + P_c(t/t_0) \cdot (\lambda + \mu) = \lambda.$$

То же самое выражение можно получить и по графу динамики, представленному на рис. 3. Для решения данного уравнения воспользуемся формулой Бернулли. Представим функцию $P_c(t/t_0)$ в виде произведения двух неизвестных функций u и v ,

$$P_c(t/t_0) = u \cdot v.$$

Заметим, что при этом одну из функций можно выбрать произвольно. Продифференцировав данное произведение по t , получается:

$$\frac{dP_c(t/t_0)}{dt} = \frac{u \cdot dv}{dt} + \frac{v \cdot du}{dt}.$$

Подставив полученное выражение в линейное дифференциальное уравнение, получим:

$$\frac{v \cdot du}{dt} + u \cdot \left[\frac{dv}{dt} + v \cdot (\lambda + \mu) \right] = \lambda. \quad (2)$$

Подберем v так, чтобы выражение в квадратных скобках обратилось в ноль:

$$\frac{dv}{dt} + v \cdot (\lambda + \mu) = 0.$$

В результате получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными:

$$\frac{dv}{v} = -(\lambda + \mu) \cdot dt.$$

Частное решение этого уравнения имеет вид, $\ln(v) = -(\lambda + \mu) \cdot t$. Взяв логарифм, получим:

$$v = e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}. \quad (3)$$

Подставим (3) в (2), и учитывая, что выражение в квадратных скобках тождественно равно нулю, получим:

$$e^{-(\lambda + \mu) \cdot t} \cdot \frac{du}{dt} = \lambda,$$

$$du = \lambda \cdot e^{(\lambda + \mu) \cdot t} \cdot dt.$$

Последнее уравнение также является дифференциальным уравнением с разделяющимися переменными. Решив его, получим:

$$u = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{(\lambda + \mu) \cdot t} + C. \quad (4)$$

Перемножив значения v и u рассчитанные по формулам (3) и (4), получим:

$$P_c(t/t_0) = u \cdot v = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + C \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}. \quad (5)$$

Пусть в начальный момент времени $t_0 = 0$, слежение за целью отсутствовало. То есть момент t_0 соответствует началу поисковой операции. Тогда мы можем записать $P_c(t/t_0) = 0$. Подставив это значение в выражение (5), после несложных преобразований получим:

$$C = -\frac{\lambda}{\lambda + \mu}.$$

Таким образом, вероятность слежения за целью в произвольный момент времени t , при условии, что в начальный момент времени слежение отсутствовало, рассчитывается по формуле:

$$P_c(t/t_0 = 0) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}. \quad (6)$$

Пусть в начальный момент времени $t_0 = 0$, слежение за судном велось. Тогда можно записать $P_c(t/t_0 = 1)$. Тогда, выполнив аналогичные выкладки, получим:

$$P_c(t/t_0 = 1) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}. \quad (7)$$

Формула (6) позволяет рассчитать вероятность слежения за объектом при условии, что в начальный момент времени слежение отсутствовало, а формула (7) — при условии, что в начальный момент времени слежение велось.

Каждая из последних двух формул содержит 2 слагаемых. Первое слагаемое является постоянной величиной, а второе — зависит от времени. Это означает, что первое слагаемое характеризует установившийся процесс, то есть процесс слежения, за судном продолжающийся столь долго, что начальное его состояние уже не оказывает на этот процесс значимого влияния.

Получить вероятности состояний для установившегося режима можно прямо из уравнения (1). Для этого достаточно правую часть данного уравнения приравнять к нулю (в установившемся режиме вероятность слежения не зависит от времени) и дополнить полученное линейное уравнение уравнением нормировки $P_c(t/t_0) + P_n(t/t_0) = 1$. Аналогично

можно найти вероятности состояний для установившегося режима модели, проиллюстрированной на рис. 2.

На основе формул (6) и (7) был составлен алгоритм ППР при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС. Осуществим его пошаговое описание.

Шаг 1. Начало.

Шаг 2. Осуществление первичного поиска судов, с потенциальными нарушителями. На данном этапе осуществляется патрулирование акватории сотрудниками ГИМС и поиск судов, которые, по их мнению, могут иметь различные нарушения.

Шаг 3. Обнаружение судна. После того, как найдено подходящее судно с ним устанавливается визуальный контакт.

Шаг 4. Слежение за судном. После того как с судном был установлен визуальный контакт осуществляется процесс слежения за ним, с целью выявления различных нарушений, к примеру правил маневрирования или навигации.

Шаг 5. Нарушение было выявлено? В случае, если нарушения выявлены, то осуществляется переход к шагу 11. Если нет, то продолжается слежение и возможен переход к шагу 6.

Шаг 6. Потеря контакта с судном. В силу различных причин в процессе слежения контакт с судном может быть утерян, тогда осуществляется переход к шагу 7.

Шаг 7. Переход ко вторичному поиску. В случае потери контакта с судном осуществляется его вторичный поиск.

Шаг 8. Расчёт $P_c(t/t_0 = 0)$. Рассчитывается значение вероятности слежения за целью в произвольный момент времени t , при условии, что в начальный момент времени слежение отсутствовало. Данная вероятность рассчитывается по формуле (6).

Шаг 9. Расчёт $P_c(t/t_0 = 1)$. Рассчитывается значение вероятности слежения за целью в произвольный момент времени t , при условии, что в начальный момент времени слежение велось. Данная вероятность рассчитывается по формуле (7).

Шаг 10. $P_c(t/t_0 = 0) = P_c(t/t_0 = 1)$? В тот момент, когда данные значения оказываются равны, продолжать вторичный поиск не имеет смысла, так как вероятность нахождения судна равняется первичному поиску, осуществляется переход к шагу 2. Если условие не выполняется, то поиск продолжается и спустя некоторое время осуществляется переход к шагу 8.

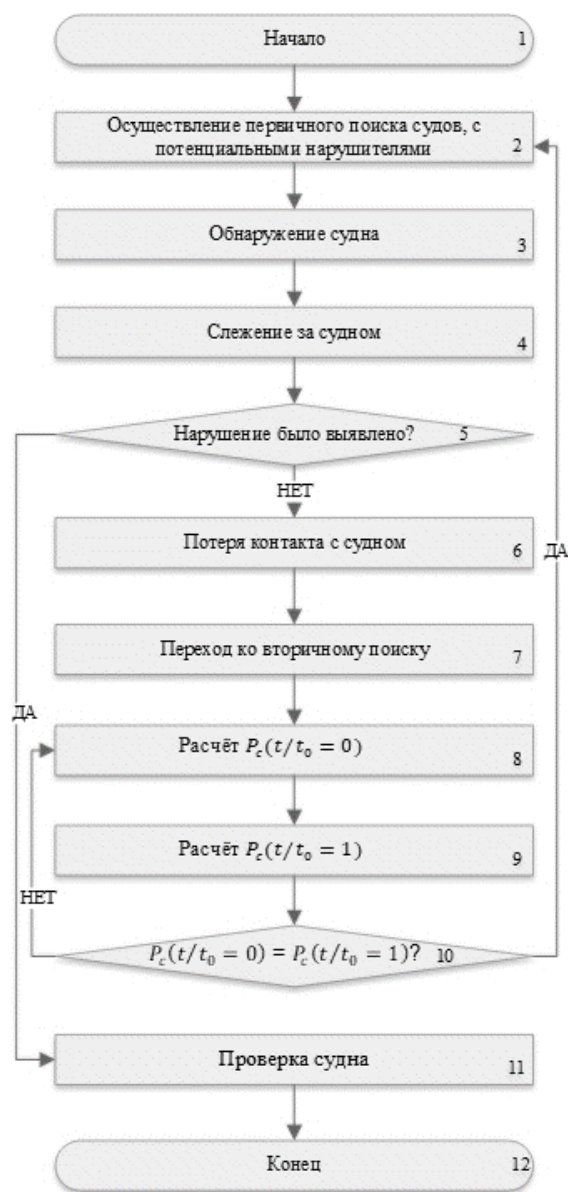


Рис. 4. Блок – схема алгоритма ППР при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС

Шаг 11. Проверка судна. В случае если нарушения при слежении выявлено не было, то осуществляется проверка документов у судоводителя и выполнение требований безопасности на воде. Если же нарушения были выявлены, то осуществляются те же мероприятия, но составляется протокол об административном правонарушении.

Шаг 12. Конец.

Блок – схема алгоритма ППР при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС представлена на рис. 4.

Таким образом, разработанный алгоритм ППР при поиске уклоняющихся судов сотрудниками ГИМС позволяет осуществлять

выбор оптимальной стратегии поиска и своевременно переходить от вторичного поиска к первичному. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью использования научных методов, а также применением разработанного алгоритма на практике, при поиске уклоняющихся судов в акватории Ладожского озера. Программная реализация разработанного алгоритма позволит сократить время на проведение необходимых расчётов и осуществлять ППР при патрулировании акватории сотрудниками ГИМС.

Выводы

В статье показана возможность применения теории графов и теории дифференциальных уравнений для описания процесса поиска уклоняющихся судов. Расчёт вероятности

слежения за судном с потенциальными нарушителями предлагается осуществлять на основе формулы Бернулли.

Предложенный алгоритм разработан с учётом основных положений теории поиска и специфики проведения поисково-спасательных операций. Таким образом, был заимствован опыт решения задач в смежных сферах, который позволил разработать адекватные модели и алгоритм ППР.

Внедрение алгоритма в виде программного комплекса в центры ГИМС МЧС России по субъектам РФ позволит выявлять большее количество различных нарушений судоводителей на водоёмах нашей страны и эффективнее осуществлять патрулирование акватории имеющимися силами и средствами.

Список литературы

1. Колеров Д. А., Потапов А. И., Уткин О. В. Комплексный анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций на транспорте // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 3. С. 38–46. EDN: HBKVKE.
2. Ки-Ян-Шуй В. А., Коробова Л. А., Толстова И. С. Применение БПЛА для поиска браконьеров // Актуальная биотехнология. 2021. № 1. С. 251–253. EDN: XHPUNC.
3. Сафаров М. С., Фазылов А. Р., Фазылов В. А. Мониторинг и исследования водных объектов и опасных гидрологических явлений горных территорий с применением беспилотных летательных аппаратов // Вестник Международного Университета Кыргызстана. 2021. № 2 (43). С. 348–355. EDN: LSAOGT.
4. Деревянко Д. В. Применение беспилотных летающих аппаратов в гражданских целях и их безопасность // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 32. С. 1438–1452. EDN: MNCMSL.
5. Колеров Д. А., Куватов В. И. Математическая модель и алгоритм поддержки принятия решений при обнаружении судов терпящих бедствие // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 1(50). С. 37–43. EDN: IJLNRS.
6. Колеров Д. А. Математическая модель определения оптимального количества поисковых групп для поиска пострадавших в акватории Санкт-Петербурга // Математика и ее применение в науке, образовании и системе МЧС России: сборник трудов Межвузовской научно-практической конференции. 2023. С. 40–43. EDN: GKLHWR.
7. Яппаров Е. Р., Алексеев В. В. Особые способы проведения поисковой операции // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 23–35. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-23-35. EDN: LUUVNY.
8. Яппаров Е. Р., Алексеев В. В. Обследование района поиска терпящего бедствие судна // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 53–60. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-53-60. EDN: HFLLRZ.
9. A survey of maritime unmanned search system: theory, applications and future directions / Li J. [et al.]. Ocean Engineering, 2023, pp. 115359.
10. Remote sensing image ship detection under complex sea conditions based on deep semantic segmentation / Chen Y. [et al.]. Remote Sensing. 2020, issue 4, pp. 625.
11. Wang Y., Zhou Y., Xia X. Marine Target Detection Algorithm Based on Deep Learning. China Automation Congress (CAC), IEEE, 2021. pp. 1375–1380.
12. Ranking Ship Detection Methods Using SAR Images Based on Machine Learning and Artificial Intelligence / Yasir M. [et al.]. Journal of Marine Science and Engineering, 2023, issue 10, p. 1916.
13. Закревский Ю. Н., Матвеев Р. П. Современные проблемы организации поиска, спасения и оказания помощи пострадавшим в морских катастрофах Обзор литературы // Экология человека. 2011. № 3. С. 33–39. EDN: NNGYYT.

References

1. Kolerov D. A., Potapov A. I., Utkin O. V. Kompleksnyj analiz prichin vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij na transporte [Comprehensive analysis of the causes of emergency situations in transport]. *Prirodnyye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty)*, 2022, issue 3, pp. 38–46.
2. Ki-Yan-Shui V. A., Korobova L. A., Tolstova I. S. Primenenie BPLA dlya poiska brakon'erov [Application of UAVs to search for poachers]. *Aktual'naya biotekhnologiya*, 2021, issue 1, pp. 251–253.
3. Safarov M. S., Fazylov A. R., Fazylov V. A. Monitoring i issledovaniya vodnyx ob'ektov i opasnyx gidrologicheskix yavlenij gornyx territorij s primeneniem bespilotnyx letatel'nyx apparatov [Monitoring and research of water bodies and hazardous hydrological phenomena in mountain areas using unmanned aerial vehicles]. *Vestnik Mezhdunarodnogo Universiteta Kyrgyzstana*, 2021, issue 2 (43), pp. 348–355.
4. Derevianko D. V. Primenenie bespilotnyx letayushhix apparatov v grazhdanskix celyax i ix bezopasnost' [Application of unmanned aerial vehicles for civil purposes and their safety]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovaniye*, 2021, issue 32, pp. 1438–1452.
5. Kolerov D. A., Kuvatov V. I. Matematicheskaya model' i algoritm podderzhki prinyatiya reshenij pri obnaruzhenii sudov terpyashhix bedstvie [Mathematical model and algorithm for decision support when detecting ships in distress]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2024, vol. 1 (50), pp. 37–43.
6. Kolerov D. A. Matematicheskaya model' opredeleniya optimal'nogo kolichestva poiskovyx grupp dlya poiska postradavshix v akvatorii Sankt-Peterburga [Mathematical model for determining the optimal number of search groups to search for victims in the waters of St. Petersburg]. *Matematika i yeye primeneniye v nauke, obrazovanii i sisteme MCHS Rossii: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2023, pp. 40–43.
7. Yapparov E. R., Alekseev V. V. Osobyie sposoby provedeniya poiskovoy operacii [Special methods of conducting search operations]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2020, issue 4, pp. 23–35. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-23-35.
8. Yapparov E. R., Alekseev V. V. Obsledovanie rajona poiska terpyashchego bedstvie sudna [Survey of the search area for a ship in distress]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2020, issue 4, pp. 53–60. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-53-60.
9. A survey of maritime unmanned search system: theory, applications and future directions / Li J. [et al.]. *Ocean Engineering*, 2023, pp. 115359.
10. Remote sensing image ship detection under complex sea conditions based on deep semantic segmentation / Chen Y. [et al.]. *Remote Sensing*. 2020, issue 4, pp. 625.
11. Wang Y., Zhou Y., Xia X. Marine Target Detection Algorithm Based on Deep Learning. *China Automation Congress (CAC), IEEE*, 2021. pp. 1375–1380.
12. Ranking Ship Detection Methods Using SAR Images Based on Machine Learning and Artificial Intelligence / Yasir M. [et al.]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, issue 10, p. 1916.
13. Zakrevsky Yu. N., Matveev R. P. Sovremennyye problemy organizacii poiska, spaseniya i okazaniya pomoshchi postradavshim v morskikh katastrofah. Obzor literatury [Modern problems of organizing search, rescue and assistance to victims of marine disasters. Review of literature]. *Ekologiya cheloveka*, 2011, issue 3, pp. 33–39.

Колеров Дмитрий Алексеевич

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

E-mail: dima11rus@inbox.ru

Kolerov Dmitry Alekseevich

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

E-mail: dima11rus@inbox.ru

Куватов Валерий Ильич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы РФ
E-mail: kyb.valery@yandex.ru

Kuvatov Valery Ilyich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E.N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation
E-mail: kyb.valery@yandex.ru

Заводсков Геннадий Николаевич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
кандидат технических наук
E-mail: ncuks73@mail.ru

Zavodskov Gennady Nikolaevich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Candidate of Technical Sciences
E-mail: ncuks73@mail.ru

Туманов Александр Юрьевич

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
кандидат технических наук, доцент
E-mail: toumanov@mail.ru

Tumanov Alexander Yurievich

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Candidate of Technical Sciences, assistant professor
E-mail: toumanov@mail.ru

УДК 614.8.004.5

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В. Б. КОРОБКО¹, Е. Н. КИЯТКИНА²

¹Академия государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
E-mail: vkorobko@mail.ru, Katusha_kt@mail.ru

Проблема технического регулирования является одной из самых значимых проблем современного этапа развития мировой цивилизации, поскольку затрагивает привычный уклад по сложившейся модели государственного управления, основу которой составляют простые жесткие типовые или стандартизированные технические решения. Управленческие решения на основе жестких технических стандартов больше не удовлетворяют современные запросы общества и экономики. Цель – разработка практических решений организационного проектирования систем контроля (надзора) пожарной безопасности. Решаемые задачи: выявление высоких организационных пожарных рисков; формулирование рабочих целей технического регулирования по риск-ориентированной модели; разработка базовых ориентиров (норм, правил) организационного проектирования контроля (надзора); разработка информационно-логических моделей организации контроля (надзора) пожарной безопасности и основные алгоритмы их реализации. В исследовании были применены методы: анализа и синтеза; организационного проектирования, включая методы информационно-логического конструирования процессной деятельности и нормативного обеспечения процессной деятельности. Сформулированы качественные показатели высоких организационных пожарных рисков и рабочих целей технического регулирования по риск-ориентированной модели. Разработаны предложения по нормам (правилам) принятия управленческих решений по риск-ориентированной модели. Разработаны информационно-логические модели организации контроля (надзора) пожарной безопасности по типовой и риск-ориентированной моделям и основные алгоритмы их реализации.

Ключевые слова: риск-ориентированная модель; пожарные риски; контроль (надзор) пожарной безопасности.

MODERN ASPECTS OF TECHNICAL REGULATION IN THE FIELD OF FIRE SAFETY

V. B. KOROBKO¹, E. N. KIATKINA²

¹State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

²Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
E-mail: vkorobko@mail.ru, Katusha_kt@mail.ru

The problem of technical regulation is one of the most significant problems of the modern stage of the development of world civilization, since it affects the usual way of life according to the established model of public administration, which is based on simple rigid standard or standardized technical solutions. Management decisions based on strict technical standards no longer satisfy the modern demands of society and the economy. The purpose is to develop practical solutions for the organizational design of fire safety control (supervision) systems. Tasks to be solved: identification of high organizational fire risks; formulation of working goals of technical regulation according to a risk-oriented model; development of basic guidelines (norms, rules) for organizational design of control (supervision); development of information and logical models for the organization of fire safety control (supervision) and basic algorithms for their implementation. The research applied the following methods: analysis and synthesis; organizational design, including methods of information and logical design of process activities and regulatory support of process activities. Qualitative indicators of high organizational fire risks and operational objectives of technical regulation according to a

risk-oriented model are formulated. Proposals have been developed on the norms (rules) of making managerial decisions based on a risk-oriented model. Information and logical models of the organization of fire safety control (supervision) according to standard and risk-oriented models and basic algorithms for their implementation have been developed.

Key words: risk-oriented model; fire risks; control (supervision) of fire safety.

Проблема технического регулирования является одной из самых значимых проблем современного этапа развития мировой цивилизации, поскольку затрагивает привычный уклад по сложившейся модели государственного управления, основу которой составляют простые жесткие типовые или стандартизированные технические решения. Такой методологический подход представляет практический интерес только на начальных этапах развития индустриализации и урбанизации, поскольку в полной мере отвечает запросам и техническим возможностям общества. Однако, с развитием техносферы, увеличением ее объема и сложности, данный методологический подход теряет свою общественную актуальность в связи с тем, что технические стандарты, чрезвычайно жесткие по своей методологической природе, перестают удовлетворять возрастающие многообразные потребности общества, прежде всего в развитии экономики и защиты общества¹ [1–12]. Своеобразным нормативным регулятором в решении этой проблемы в областях техносферной и пожарной безопасности являются Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.004-91* «Пожарная безопасность. Общие требования» и Федеральный закон от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании», поскольку, в данном вопросе, отечественные нормативы занимают лидирующее положение (так называемые «развитые» страны пока не имеют аналогичных нормативов).

В работах² [1–9] рассмотрены различные аспекты организации деятельности по контролю (надзору) пожарной безопасности по типовой и риск-ориентированной моделям, однако, практическая реализация научных разработок по риск-ориентированной модели пока имеет низкую продуктивность, что создает практические условия для постановки и исполнения новых уточняющих научных исследований в этом направлении. В этой связи особое значение имеют практические аспекты нормативно-процессуального управления в организационных системах контроля (надзора) пожарной безопасности. Изучению выше указанных аспектов посвящено настоящее исследование.

Современный этап развития технического регулирования характеризуется целым спектром методологических проблем, которые, по мнению авторов, нашли отражение в высоких пожарных рисках. В процессе исследования были выделены следующие виды высоких организационных пожарных рисков, которые представлены в табл. 1. Под «высокими» рисками понимались качественные оценки риска (вред), которые приводят к значительному превышению критически недопустимых размеров причинения вреда, установленных нормами Уголовного кодекса Российской Федерации, к неудовлетворению современных общественных потребностей. Виды высоких пожарных рисков, включая их определения, разработаны авторами настоящей статьи с применением материалов работы [5].

Таблица 1. Виды высоких организационных пожарных рисков, выявленные в процессе исследования

N п/п	Виды высоких организационных пожарных рисков, выявленные в процессе исследования
1.	Высокий нормативный пожарный риск – высокий риск (вред) нормативного регулирования с применением недоброкачественной типовой нормативной базы. Под недоброкачественностью нормативной базы понималось отсутствие в типовых стандартизированных технических нормативах оценок степени риска причинения вреда, что не соответствует обязательным требованиям по стандартизации технического регулирования, установленных положениями частей 1-3, 11 статьи 7 Федерального закона «О техническом регулировании», в частности, динамики опасных факторов пожара, динамики вреда охраняемым ценностям (прежде всего люди и

¹ О ходе реализации Федерального закона «О техническом регулировании» // Доклад Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии. 2003.

² Там же

N п/п	Виды высоких организационных пожарных рисков, выявленные в процессе исследования
	имущество), динамики защиты охраняемых ценностей с применением типовой стандартизированной нормы.
2.	Высокий квалификационный пожарный риск – высокий риск (вред) подготовки кадров (специалистов) по недоброкачественной нормативной базе.
3.	Высокий риск низкого качества управленческих решений (разработчиков, применителей, исполнителей, контрольно-надзорных и разрешительных органов) – высокий возможный риск (вред) от решений, принимаемых на основе недоброкачественной нормативной базы, которые не учитывают реальные обстоятельства применения конкретных стандартизированных технических решений, что не может обеспечить высокий уровень надежности надлежащей защиты охраняемых ценностей.
4.	Высокий риск причинения вреда от управленческих решений низкого качества, включая вред от пожаров – высокий риск (вред), причиненный вследствие применения управленческих решений, в основу которых было положено правило прямого применения типовых стандартизированных технических решений без производства оценок степени риска причинения вреда охраняемым ценностям.
5.	Высокий риск высоких административных барьеров – высокий риск (вред), причиняемый государственным контролем (надзором), организованным на основе правила прямого применения стандартизированных типовых технических решений без оценок степени риска причинения вреда охраняемым ценностям.
6.	Высокий риск сдерживания развития национальной экономики, прежде всего в секторах малого и среднего бизнеса – высокий риск (вред), причиняемый государственным контролем (надзором) национальной экономике в наименее защищенных секторах малого и среднего бизнеса от организации контроля (надзора) организованным на основе правила прямого применения стандартизированных типовых технических решений без оценок степени риска причинения вреда охраняемым ценностям.

Рассмотрим самую значимую, по мнению авторов, проблему – проблему высокого нормативного пожарного риска. В методологическом общественном контексте, суть данного высокого риска заключается в проблеме противостояния общественного динамического многообразия и жестко стандартизированного единообразия технических норм [2].

Данная проблема решается увеличением количества жестко стандартизированных технических норм и их усложнением. Однако, такое решение, по всей видимости, уже переступило границу физиологических возможностей применителей нормативной базы, поскольку, уже к 2012 году, по оценкам ВНИИПО, в отечественной нормативной базе в области пожарной безопасности содержится более 100 тысяч технических норм в более 1700 нормативных документах [3, 4].

В практической плоскости данное противоречие привело к необходимости введения в деловой оборот процедур «Необходимости отступления от жестких нормативных требований» и «Необходимости установления индивидуальных жестких нормативных требований в связи с их отсутствием в общественной нормативной базе жестких требований». По сути, практически каждый индивидуально проектируемый и индивидуально эксплуатируемый объект защиты подпадает под эти процедуры,

которые требуют соразмерных дополнительных объектовых и государственных усилий и затрат, прежде всего временных и материальных.

Для преодоления проблемы дополнительных объектовых и государственных усилий и затрат был принят Федеральный закон от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании»³, суть которого заключается в необходимости принятия общего, единого для всех субъектов, порядка установления индивидуальных технических требований, обеспечивающих техносферную защиту на минимально необходимом уровне для всех наиболее важных видов техносферных рисков, включая пожарные риски, которые должны самостоятельно исполнять все хозяйствующие субъекты без обращения в государственные органы и организации (см. [5] и части 1–3, 11 статьи 7 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»).

Однако, к настоящему моменту, такого общественно полезного порядка в полной мере не разработано и не введено в деловой оборот (включая Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический ре-

³ Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

гламент о требованиях пожарной безопасности» – наиболее прогрессивный в мире нормативный документ), что вынуждает хозяйствующие субъекты использовать прежнюю модель технического регулирования – типовую модель.

В этой связи, опираясь на уже разработанные элементы современной модели технического регулирования, именуемой риск-ориентированной [5] или расчетно-сценарной (не путать с так называемым риск-ориентированным подходом, применяемым для назначения периодичности плановых проверок), были изучены следующие смысловые ориентиры, которые вносят решающий вклад в проблему высокого нормативного риска.

Во-первых, современное техническое регулирование – это не стандартизация, как обычно понимают специалисты, подготовленные только под типовую модель [5]. Исследованием было зафиксировано, что техническое регулирование в рамках риск-ориентированной модели [5] – это правовое регулирование отношений в области техносферной (и пожарной) безопасности.

Во-вторых, техническое регулирование в рамках риск-ориентированной модели – это модель урегулирования высоких пожарных рисков, снижения высоких пожарных рисков до уровня современных общественных потребностей.

В-третьих, были разработаны рабочие цели технического регулирования, которые представлены в табл. 2. Под рабочими целями современного технического регулирования понимаются первоочередные цели, которые необходимо достигнуть для надлежащего исполнения законодательно обязательных требований к общему техническому регулированию в области пожарной безопасности, установленных положениями частей 1–3, 11 статьи 7 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании». Под типовой моделью понимается организация деятельности по контролю (надзору) за обеспечением пожарной безопасности на основе правила прямого применения типовых стандартизированных технических решений в качестве обязательных требований пожарной безопасности (такой методологический подход не отвечает требованиям статьи 1, частям 2 и 3 статьи 4, частям 1–3 статьи 7 Федерального закона от 22 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»). Под риск-ориентированной моделью понимается организация деятельности по контролю (надзору) за обеспечением пожарной безопасности на основе правила применения любых технических решений, в том числе типовых стандартизированных технических решений, в качестве обязательных требований пожарной безопасности через оценку степени риска причинения вреда охраняемым ценностям.

Таблица 2. Разработанные рабочие цели современного технического регулирования

№ п/п	Разработанные рабочие цели современного технического регулирования
1.	Упростить нормативную базу и повысить ее качество
2.	Повысить уровень квалификации лиц, принимающих решения по контролю (надзору)
3.	Разработать организационно-управленческие механизмы, защищающие от принятия недоброкачественных управленческих решений, прежде всего модели и алгоритмы управления
4.	Повысить уровень защиты людей и имущества за счет перехода от «жестких» к «гибким» (расчетно-сценарным) системам пожарной безопасности
5.	Сократить издержки (необоснованные ресурсы – ресурсы необоснованные результатами расчетно-сценарного моделирования) на системы обеспечения пожарной безопасности
6.	Снизить (исключить) административное давление за счет повышения уровня зрелости контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (способом перевода государственного контроля (надзора) на риск-ориентированную модель организации деятельности).
7.	Создать благоприятные условия для развития национальной экономики (исключить избыточное (необоснованное результатами расчетно-сценарного моделирования) регулирование отношений).

Настоящее исследование исходило из установленного факта, что в области пожарной безопасности накоплен огромный массив нормативных требований, количественные показатели которых превышают физиологические возможности лиц, принимающих решения. Кроме этого, было выдвинуто предположение, что эти нормативные требования имеют разное качество и по-разному решают вопросы пожарной безопасности. Также было установлено, что данные нормативные требования, как правило, не содержат информации о том, на компенсацию какого вреда в каких обстоятельствах они предназначены. В этой связи сформулировано предположение, что более разумно, вместо огромного массива данных использовать закономерности, полученные по результатам научных разработок последних 50 лет, которые будут лежать в основе управленческих решений. Это позволит значительно упростить нормативную базу и резко повысить качество требований и решений.

В рамках настоящего исследования были разработаны практические предложения по дальнейшему переходу на современное техническое расчетно-сценарное регулирование [6], которые имеют два смысловых блока. Первый, посвящен нормам регулирования, которые носят уточняющий и разъясняющий характер. Второй посвящен моделям и алгоритмам организации деятельности по контролю (надзору), включая фактическую практику.

В рамках первого блока были предложены рабочие редакции следующих нормативных положений:

1) Рабочая редакция части 1 статьи 1 Федерального закона «О техническом регулировании»:

«Данный федеральный закон регулирует отношения, возникающие при:

– установлении (разработке, утверждении, применении и исполнении (включая контроль (надзор)) обязательных (минимально необходимых) требований техносферной безопасности;

– установлении (разработке, утверждении, применении и исполнении (включая контроль (надзор)) дополнительных (по отношению к обязательным, дополнительные к минимально необходимым) требований технической безопасности, добровольного применения».

2) Рабочая редакция названия Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»⁴:

«Порядок установления (разработки, утверждения, применения и исполнения) обязательных и дополнительных требований пожарной безопасности».

3) Рабочая редакция статьи 5 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»:

«Статья 5. Система обеспечения пожарной безопасности хозяйствующего субъекта

1. Каждый хозяйствующий субъект должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности.

2. Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является управление социальными и имущественными рисками причинения вреда.

3. Система обеспечения пожарной безопасности подлежит разработке.

3.1. Главной обязательной целевой функцией системы обеспечения пожарной безопасности хозяйствующего субъекта являются меры по защите людей от последствий пожара, сформулированные в положениях статьи 219 Уголовного кодекса Российской Федерации.

3.2. Дополнительной целевой функцией системы обеспечения пожарной безопасности хозяйствующего субъекта являются меры по защите от вреда пожара: дополнительной защите людей; защите собственного и чужого имущества.

3.3. Меры по защите чужого имущества подлежат применению в части предотвращения вреда, предусмотренного статьей 168 Уголовного кодекса Российской Федерации и статьями 1064, 1065 Гражданского кодекса Российской Федерации.

3.4. Страхование ответственности за вред от пожара или рисков уничтожения (повреждения) имущества является мерой по его защите. Применяется добровольно, как правило, в случаях отсутствия апробированных расчетно-сценарных методик по оценкам мер пожарной безопасности, позволяющих с высокой степенью надежности обосновать (доказать) экономическую результативность и эффективность иных, прежде всего технических, мер пожарной безопасности.

4. Основу разработки мер системы обеспечения пожарной безопасности составляют результаты расчетно-сценарного моделирования динамики опасных факторов пожара и динамики применения мер по защите людей и имущества от опасных факторов пожара.

5. Мера «организация деятельности подразделений пожарной охраны» применяется в качестве дополнительной (не обязательной) меры по защите людей от рисков, сформулированных в положениях статьи 219 Уго-

⁴ Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

ловного кодекса Российской Федерации. Данная мера имеет два режима применения: расчетно-сценарный или форс-мажорный. Расчетно-сценарный режим применяется, если в деловом обороте имеются соответствующие прогнозные расчетно-сценарные методики. Форс-мажорный режим применяется в обстоятельствах неопределенности не подлежащих преодолению при разработке системы обеспечения пожарной безопасности. Такие обстоятельства возникают, как правило, при отсутствии соответствующих прогнозных расчетно-сценарных методик или отсутствия материальных возможностей (или экономической целесообразности) по организации деятельности пожарных подразделений в соответствии с результатами применения соответствующих прогнозных расчетно-сценарных методик» [10, 11, 12].

4) Рабочая редакция статьи 6 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»:

«Статья 6. Общие правила идентификации обязательных требований пожарной безопасности

Обязательными являются требования, удовлетворяющие одному из условий:

1. В любой момент времени опасные факторы пожара не должны причинять критически недопустимый вред людям, предусмотренный положениями статьи 219 Уголовного кодекса Российской Федерации, в том числе с учетом применения мер пожарной безопасности направленных на защиту людей.

2. Меры по защите имущества являются дополнительными, если применение этих мер косвенно не обеспечивает защиту людей от вреда жизни и здоровью, установленного положениями статьи 219 Уголовного кодекса Российской Федерации».

Во-втором смысловом блоке были разработаны модели и алгоритмы обеспечения пожарной безопасности хозяйственной деятельности:

1. На рис. 1 представлена простая кибернетическая модель системы управления системами обеспечения пожарной безопасности хозяйствующих субъектов (СОПБ ХС), которая перестала удовлетворять современным обстоятельствам, оказывающим существенное влияние на управленческие решения.

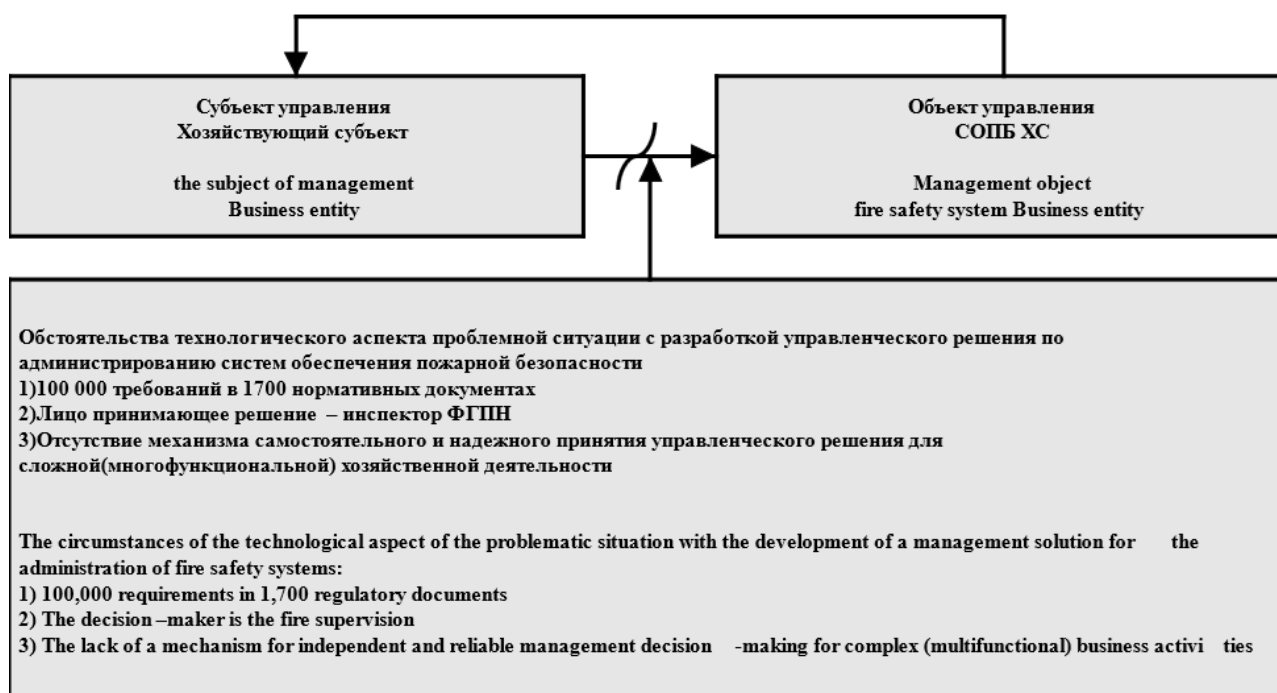


Рис. 1. Простая кибернетическая модель системы управления применительно к деятельности по управлению СОПБ ХС

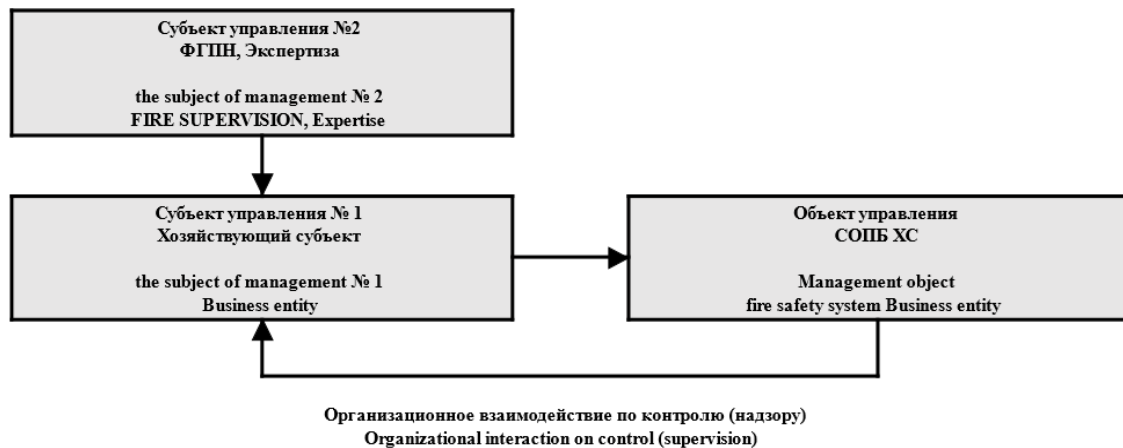


Рис. 2. Уточненная кибернетическая модель системы управления СОПБ ХС



Рис. 3. Уточненная фактическая модель системы управления СОПБ ХС.

2. На рис. 2 представлена разработанная уточненная кибернетическая модель системы управления СОПБ ХС, которая учитывает разделение субъекта управления на два уровня: высший (под которым понимается государственный орган по контролю (надзору) и низший (под которым понимается хозяйствующий субъект).

3. На рис. 3 представлена разработанная уточненная фактическая модель системы управления СОПБ ХС, которая учитывает сложившееся на практике взаимодействие двух субъектов управления: субъект управления № 2 встроен в связь управленческого воздействия субъекта управления № 1 и лишен реактивной связи, что создает предпосылки избы-

точности и низкой надежности такой системы управления.

4. На рис. 4 представлен разработанный алгоритм принятия управленческого решения в простой фактической модели системы управления СОПБ ХС.

5. На рис. 5 представлен разработанный алгоритм принятия управленческого решения в усложненной фактической модели системы управления СОПБ ХС.

6. На рис. 6 представлен разработанный алгоритм принятия управленческого решения по усложненной перспективной риск-ориентированной модели системы управления СОПБ ХС.

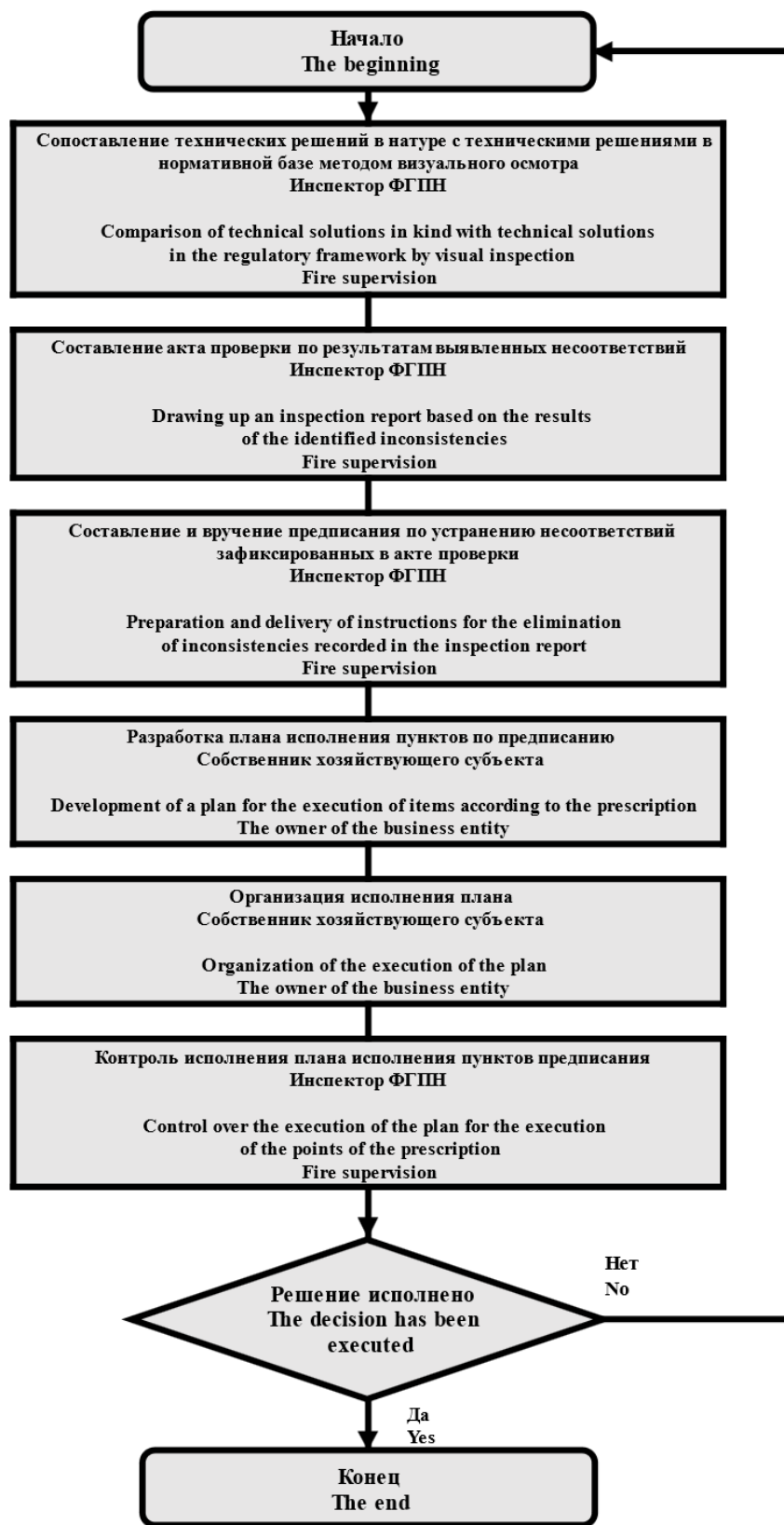


Рис. 4. Алгоритм принятия управленческого решения в простой фактической модели системы управления СОПБ ХС

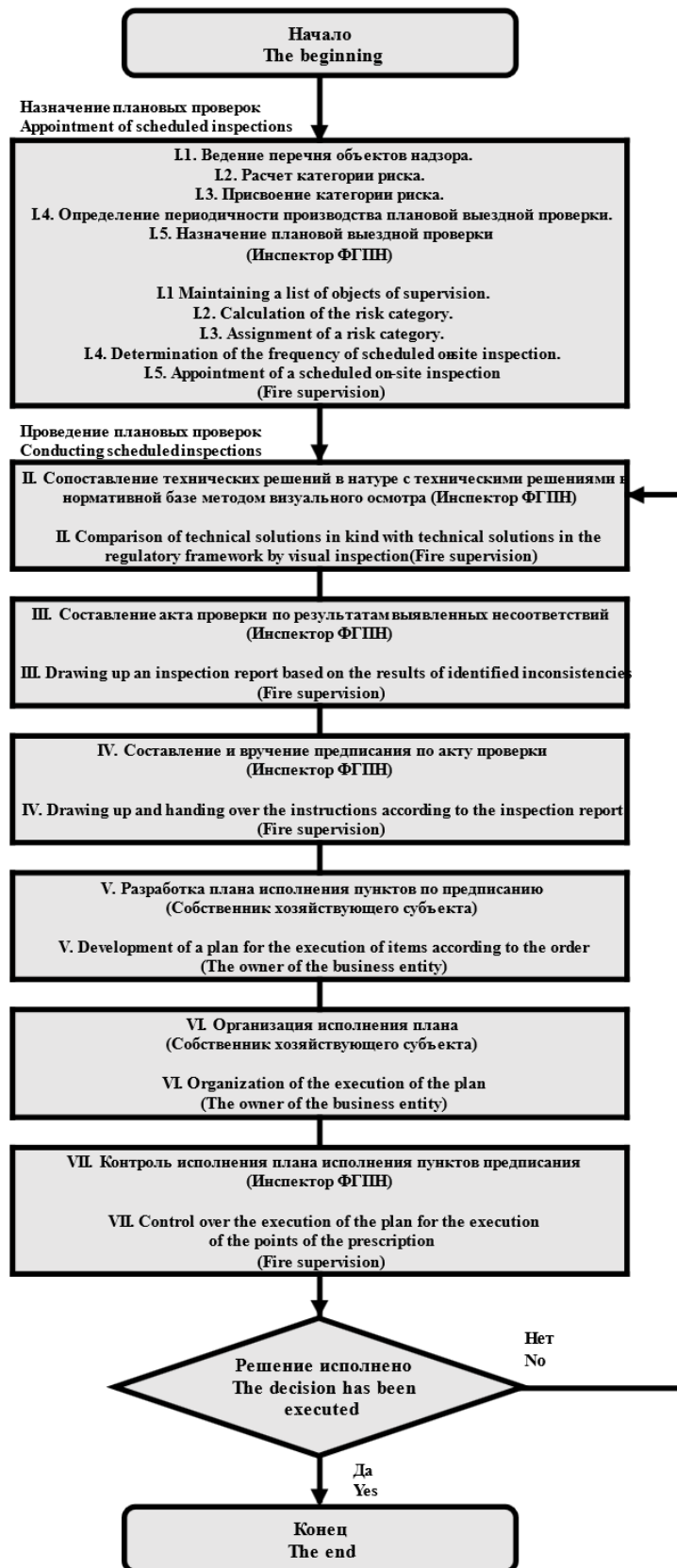


Рис. 5. Алгоритм принятия управленческого решения в усложненной фактической модели системы управления СОПБ ХС

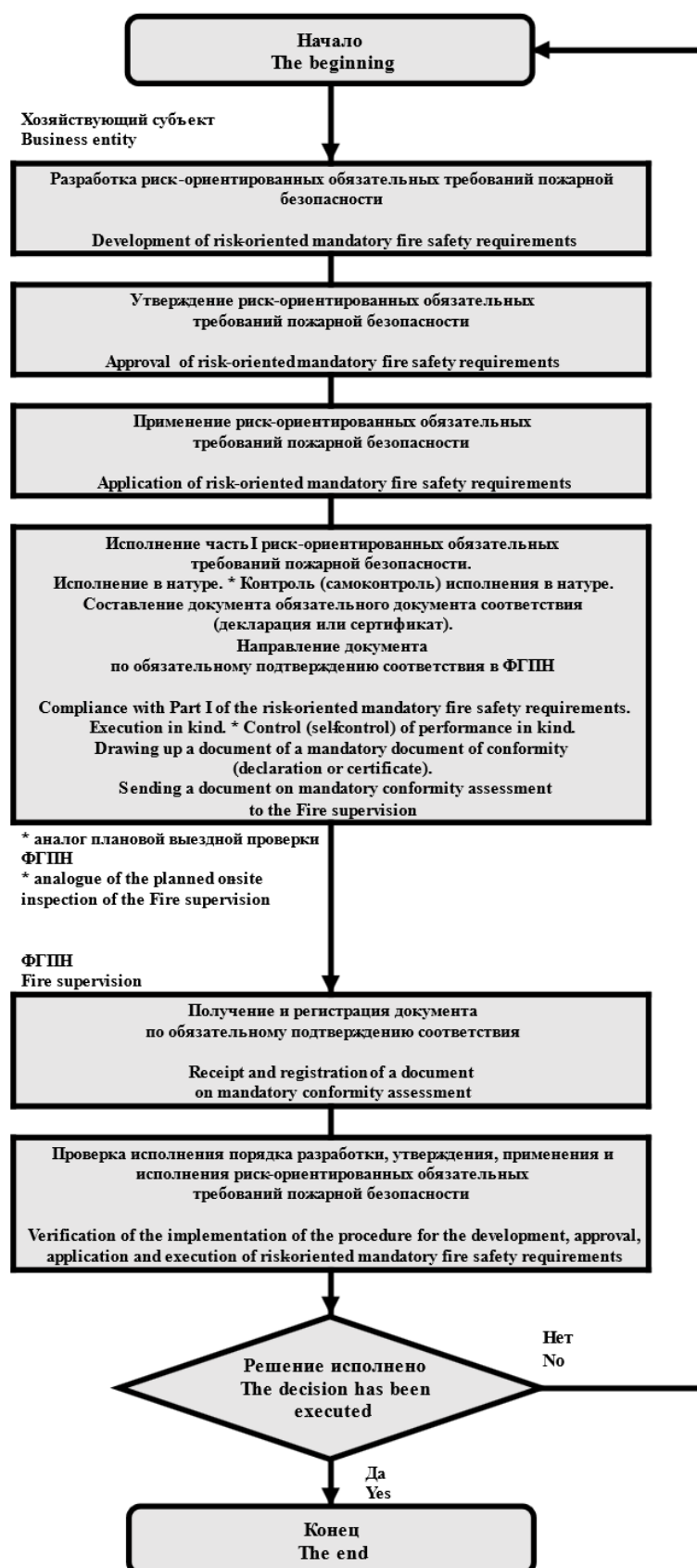


Рис. 6. Алгоритм принятия управленческого решения в перспективной риск-ориентированной модели системы управления СОПБ ХС

В работе обоснован переход на перспективную риск-ориентированную модель контроля (надзора) пожарной безопасности. В частности: сформулированы качественные показатели высоких организационных пожарных рисков и рабочих целей технического регулирования; показано, что количественные характеристики смысловых ориентиров процессуальных механизмов организационного проектирования по типовой модели превышают физиологические возможности лиц, принимающих решения в организационных системах обеспечения пожарной безопасности и контроля (надзора) пожарной безопасности; разработаны базовые ориентиры (нормы, правила) организационного проектирования контроля

(надзора) пожарной безопасности по риск-ориентированной модели; разработаны информационно-логические модели организации контроля (надзора) пожарной безопасности по типовой и риск-ориентированной моделям и основные алгоритмы их реализации. Результаты исследования позволяют обеспечить более надежный уровень защиты людей, более гибкий уровень защиты имущества от вреда пожаров, более точную координацию деятельности государственных организационных структур по контролю (надзору) пожарной безопасности и организационных структур хозяйствующих субъектов, создают предпосылки оптимизации организационных структур в системах обеспечения пожарной безопасности.

Список литературы

1. Ершов А. В., Коробко В. Б. Проблема актуального социального регулирования в техносфере на примере пожарной безопасности // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2021. Т. 30. № 1. С. 5–27. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.0-00
2. Расчетно-сценарные оценки риска причинения вреда в организации контроля (надзора) за обеспечением пожарной безопасности / Е. Н. Кияткина, А. В. Ершов, В. Б. Коробко [и др.] // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2023. № 1. С. 81–87. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.56.69.004.
3. Козлачков В. И. Проблемы и методы совершенствования подготовки пожарно-профилактических работников. Комплексный подход. Минск: Полымя, 1993. 1999 с.
4. Козлачков В. И. Особенности применения современных требований пожарной безопасности при осуществлении надзорной деятельности. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. № 4. 2009. С. 26–32
5. Козлачков В. И. Типовая и риск-ориентированная модель надзорной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности. Сравнительный анализ. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 308 с.
6. Кияткина Е. Н., Коробко В. Б. Анализ риск-ориентированной модели профилактики рисков причинения вреда // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2023 № 1. С. 153–158. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.84.018.
7. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
8. Игровое моделирование и пожарная безопасность: учебное пособие /

Н. Н. Брушлинский, В. И. Козлачков, В. Л. Семиков [и др.]. М.: Стройиздат, 1993. 271 с.

9. Козлачков В. И., Хохлова А. Ю. Экспресс-оценка пожарных рисков при обследовании зданий и сооружений. М.: Академия ГПС МЧС России, 2001. 200 с.

10. Брушлинский Н. Н. Соколов С. В. К вопросу о нормативах положенности основной и специальной пожарной техники для городов и населенных пунктов России // *Пожарное дело*. № 1/2009, С. 38–40.

11. Красавин А. В. Нормативное время прибытия пожарных к месту вызова. Реальность или миф? // *Пожаровзрывобезопасность*. 2010. № 3 (19). С. 3–5.

12. Коробко В. Б., Барбосов А. Н., Коробко М. В. О динамике нормирования противопожарной службы // *Технологии техносферной безопасности*. 2015. Вып. 6 (64). С. 46–62.

References

1. Ershov A. V., Korobko V. B. Problema aktual'nogo sotsial'nogo regulirovaniya v tekhnosfere na primere pozharной bezopasnosti [The problem of actual social regulation in the technosphere on the example of fire safety]. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*, 2021, vol. 30, issue 1, pp. 5–27. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.0-00
2. Raschetno-stsenarnyye otsenki riska prichineniya vreda v organizatsii kontrolya (nadzora) za obespecheniyem pozharной bezopasnosti [Computational and scenario assessments of the risk of harm in the organization of control (supervision) over fire safety] / E. N. Kiyatkin, A. V. Ershov, V. B. Korobko [et al.]. *Sibirskiy pozharно-spasatel'nyy vestnik*, 2023, issue 1, pp.81–87. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.56.69.004.

3. Kozlachkov V. I. *Problemy i metody sovershenstvovaniya podgotovki pozharно-profilakticheskikh rabotnikov. Kompleksnyy podkhod* [Problems and methods of improving the training of fire prevention workers. An integrated approach]. Minsk: Polymya, 1993. 1999 p.

4. Kozlachkov V. I. Osobennosti primeniya sovremennykh trebovaniy pozharной bezopasnosti pri osushchestvlenii nadzornoй deyatelnosti. [Features of the application of modern fire safety requirements in the implementation of supervisory activities]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya*, 2009, issue 4, pp. 26–32

5. Kozlachkov V. I. *Tipovaya i risk-oriyentirovannaya model' nadzornoй deyatelnosti v oblasti obespecheniya pozharной bezopasnosti. Sravnitel'nyy analiz* [A typical and risk-oriented model of supervisory activities in the field of fire safety. Comparative analysis]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2016. 308 p.

6. Kiyatkina E. N., Korobko V. B. Analiz risk-oriyentirovannoy modeli profilaktiki riskov prichineniya vreda [Analysis of the risk-oriented model of prevention of risks of harm]. *Sibirskiy pozharно-spasatel'nyy vestnik*, 2023, issue 1, pp. 153–158. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.84.018.

7. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii: uchebnoye posobiye* [Forecasting of dangerous

factors of fire in the room: tutorial]. Moscow: Akademiya GPS MVD Rossii, 2000. 118 p.

8. *Igrovoye modelirovaniye i pozharная bezopasnost': uchebnoye posobiye* [Game modeling and fire safety: textbook] / N. N. Brushlinsky, V. I. Kozlachkov, B. L. Semikov [et al.]. Moscow: Stroyizdat, 1993. 271 p.

9. Kozlachkov V. I., Khokhlova A. Yu. *Ekspress-otsenka pozharных riskov pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy* [Express assessment of fire risks during the inspection of buildings and structures]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2001. 200 p.

10. Brushlinsky N. N. Sokolov S. V. K voprosu o normativakh polozhennosti osnovnoy i spetsial'noy pozharной tekhniki dlya gorodov i naselennykh punktov Rossii [On the issue of the standards of basic and special fire equipment for cities and towns of Russia]. *Pozharное delo*, vol. 1/2009, pp. 38–40.

11. Krasavin A. V. Normativnoye vremya pribytiya pozharных k mestu vyzova. Real'nost' ili mif? [The standard time of arrival of firefighters to the place of call. Reality or myth?]. *Pozharov-zryvobezopasnost'*, 2010, vol. 3 (19), pp.3–5.

12. Korobko V. B., Barbosov A. N., Korobko M. V. O dinamike normirovaniya protivopozharной sluzhby [On the dynamics of rationing of the fire service]. *Tekhnologii tekhnosferной bezopasnosti*, 2015, vol. 6 (64), pp. 46–62.

Коробко Вадим Борисович

Академия государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
доктор технических наук, профессор
E-mail: vkorobko@mail.ru

Korobko Vadim Borisovich

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
doctor of Technical Sciences, professor
E-mail: vkorobko@mail.ru

Кияткина Екатерина Николаевна

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
Ученый секретарь

E-mail: Katusha_kt@mail.ru

Kiiyatkina Ekaterina Nikolaevna

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Academic Secretary
E-mail: Katusha_kt@mail.ru

УДК 614.842.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЯ МЕТОД ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

М. А. МАРЕЕВ

Главное управление пожарной охраны МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Эффективная локализация и ликвидация пожаров на промышленных объектах может осуществляться в случаях оптимизации работы пожарно-спасательных подразделений, скоординированных действий между пожарно-спасательными подразделениями и системой (комплексом) противовоздушной обороны по информационному и боевому взаимодействию и повышению эффективности ведения боевых действий при тушении пожара и применению средств беспилотной разведки для целеуказания и доставки огнетушащих веществ. Предложено использовать метод электрогидравлических аналогий, который в частности, может использоваться для выбора системы пожаротушения на основе таких параметров, как расход огнетушащих веществ и дальность их подачи, количество личного состава, время работы. Разработана блок-схема и система дифференциальных уравнений реализации принципа моделирования указанного метода.

Ключевые слова: электрогидравлические аналогии, пожарно-спасательные подразделения, эффективность, уравнения, поддержка, управление, пожар.

MODELING OF CONTROL PROCESSES USING THE METHOD OF ELECTROHYDRAULIC ANALOGIES IN FIGHTING FIRES AT INDUSTRIAL FACILITIES

M. A. MAREEV

Fire Main Office EMERCOM of Russia
Russian Federation, Moscow
E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Effective localization and elimination of fires at industrial facilities can be carried out in cases of optimization of the work of fire and rescue units, coordinated actions between fire and rescue units and the air defense system (complex) for information and combat interaction and increasing the efficiency of combat operations when extinguishing a fire and the use of means unmanned reconnaissance for target designation and delivery of fire extinguishing agents. It is proposed to use the method of electrohydraulic analogies, which, in particular, can be used to select a fire extinguishing system based on parameters such as the consumption of fire extinguishing agents and the range of their supply, the number of personnel, operating time. A block diagram and a system of differential equations for implementing the principle of modeling the specified method have been developed.

Key words: electrohydraulic analogies, fire and rescue units, efficiency, equations, support, control, fire.

Повышение эффективности применения средств беспилотной разведки для мониторинга [1], целеуказания и доставки огнетушащих веществ [2] (микро противопожарных «боеприпасов») является современным и перспективным шагом в борьбе с пожарами и достигается за счёт оперативного и точного

(площадь пожара, вид горючего вещества, наличие людей в зоне пожара, и т.п.) обнаружения очагов горения, адресной доставки огнетушащих веществ, и как следствие — снижение ущерба (комплексного).

Рассматривая методы и модели поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров [3] были выявлены достоинства, недостатки и

преимущества одних методов и моделей над другими. Учитывая это предложено использовать метод электрогидравлических аналогий [4], который в частности, может использоваться для выбора системы пожаротушения на основе таких параметров, как расход огнетушащих веществ и дальность их подачи, количество личного состава, время выхода на боевые позиции и т.д. Это позволяет оптимизировать работу пожарно-спасательных подразделений, скоординировать действия между пожарно-спасательными подразделениями и системой (комплексом) противовоздушной обороны по информационному и боевому взаимодействию и повысить эффективность ведения боевых действий при тушении пожара на промышленных объектах (в первую очередь). Кроме того, данный метод может использоваться для поддержки принятия управленческих решений, моделирования различных сценариев пожара и определения оптимальных стратегий тушения [5].

На момент исследования использование противопожарных ресурсов не рассматривается с позиции их дробления и оптимального распределения с целью высокоточной доставки в очаги возгорания [6], исходя из их ранжирования по приоритетной опасности.

Метод электрогидравлических аналогий позволяет представить процессы пожаротушения в виде взаимодействия гидравлических компонентов системы, что облегчает формальное представление модели пожаротушения [7]. На рис. 1 представлена блок-схема его реализации.

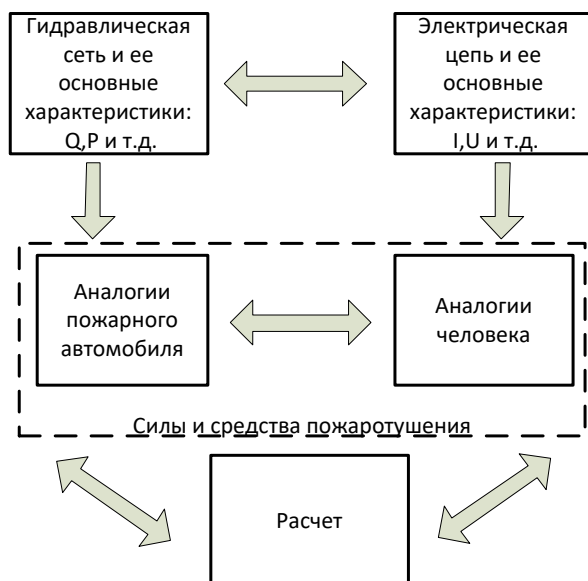


Рис. 1. Принцип моделирования методом электрогидравлических аналогий

Таким образом, уравнения, описывающие длинную электрическую линию и трубу с потоком жидкости, записываются аналогичным образом, а их соответствующие переменные величины подобны между собой. Уравнения, которые связывают между собой электрические параметры, могут сходным образом описывать гидродинамические параметры со сходными соотношениями [8].

$$\begin{cases} -\frac{\partial U}{\partial x} = L \frac{\partial I}{\partial t} + RI \\ -\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{C} \frac{\partial I}{\partial x} \end{cases}, \quad (1)$$

где U — напряжение; I — сила тока; L, R, C — индуктивность, активное сопротивление, ёмкость; t — время; x — координата.

Система уравнений, описывающая движение жидкости в трубе:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\rho_0}{S} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2a}{S} Q \\ -\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\rho_0 c^2}{S} \frac{\partial Q}{\partial x} \end{cases}, \quad (2)$$

где Q — расход объёма жидкости; S — площадь поперечного сечения трубопровода; P — давление жидкости; C — скорость;

ρ_0 — плотность жидкости; a — показатель трения [9].

Исходя из соотношений (1) и (2), сформированы соотношения — группа систем уравнений (3)–(7) для показателей эффективности взаимодействия системы противовоздушной обороны и противопожарной системы (тактических, информационно-тактических и информационных):

$$\begin{cases} -\frac{\partial W_o(P_o)}{\partial x} = \alpha_o C_{ox}(P_o) \frac{\partial P_o}{\partial t} + C_o(P_o) P_o \\ -\frac{\partial W_o(P_o)}{\partial t} = \alpha_o C_{ot}(P_o) \frac{\partial P_o}{\partial x} \end{cases}, \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{\partial W_o(P_f)}{\partial x} &= \beta_o C_{ox}(P_f) \frac{\partial P_f}{\partial t} + C_o(P_f)P_f \\ -\frac{\partial W_o(P_f)}{\partial t} &= \beta_o C_{ot}(P_f) \frac{\partial P_f}{\partial x} \end{aligned} \right. , (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{\partial W_o(T_r)}{\partial x} &= \gamma_o C_{ox}(T_r) \frac{\partial T_r}{\partial t} + C_o(T_r)T_n \\ -\frac{\partial W_o(T_r)}{\partial t} &= \gamma_o C_{ot}(T_r) \frac{\partial T_r}{\partial x} \end{aligned} \right. , (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{\partial W_o(L_s)}{\partial x} &= \delta_o C_{ox}(L_s) \frac{\partial L_s}{\partial t} + C_o(L_s)L_s \\ -\frac{\partial W_o(L_s)}{\partial t} &= \delta_o C_{ot}(L_s) \frac{\partial L_s}{\partial x} \end{aligned} \right. , (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{\partial W_o(L_w)}{\partial x} &= \varepsilon_o C_{ox}(L_w) \frac{\partial L_w}{\partial t} + C_o(L_w)L_w \\ -\frac{\partial W_o(L_w)}{\partial t} &= \varepsilon_o C_{ot}(L_w) \frac{\partial L_w}{\partial x} \end{aligned} \right. , (7)$$

где W_o — предотвращённый ущерб промышленного объекта от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) противника при взаимодействии противопожарной и противовоздушной систем в зависимости от вклада

P_o, P_f, T_n, L_s, L_w , руб.

C_{ox}, C_{ot} — стоимости произведённых затрат противовоздушной и противопожарной систем для снижения ущерба от применения БПЛА противника в зависимости от вклада P_o, P_f, T_n, L_s, L_w по переменным дифференцирования x или t , руб.:

α_o — коэффициент, учитывающий вклад правильного распознавания объекта удара в удельный предотвращённый ущерб защищаемого промышленного объекта;

β_o — коэффициент, учитывающий вклад правильного распознавания наиболее опасного очага возгорания объекта удара в удельный предотвращённый ущерб защищаемого промышленного объекта;

P_o — вероятность правильного распознавания задачи БПЛА противника по правильному распознаванию объекта удара;

P_f — вероятность правильного распознавания наиболее опасного очага возгорания объекта удара;

γ_o — коэффициент, учитывающий вклад продолжительности времени реакции системы от момента обнаружения БПЛА противника до момента ликвидации последствий его удара в удельный предотвращённый ущерб защищаемого промышленного объекта;

T_r — время реакции системы от момента обнаружения БПЛА противника до момента начала ликвидации последствий его применения по объекту, с;

δ_o — коэффициент, учитывающий вклад кругового вероятного отклонения противопожарного боеприпаса, запускаемого со своего БПЛА, от максимального очага возгорания, м⁻¹;

L_s — круговое вероятное отклонение доставляемого своим БПЛА противопожарного боеприпаса от максимального очага возгорания, м;

ε_o — коэффициент, учитывающий вклад кругового вероятного отклонения средства тушения, запускаемого со своего БПЛА, от максимального очага возгорания, м⁻¹;

L_w — круговое вероятное отклонение доставляемого средством тушения огнетушащего вещества от максимального очага возгорания, м.

Используя пакет прикладных программ AnyLogic¹ возможно выявить на качественном уровне изменения, происходящие с объектами модели, в зависимости от их изначальной эффективности, заданной перед началом ведения боевых действий и определить динамику технического состояния элементов модели во времени [6].

Вся последовательность действий пожарных подразделений должна быть направлена на минимизацию времени реакции на пожарную опасность [10]. Конечный показатель эффективности указывает на величину отношения предотвращённого ущерба спасённого от пожара имущества к затратам на спасение.

¹ AnyLogic 8 Personal Learning Edition 8.7.7. Сборка: 8.7.7.202109242252 x64. Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/> (дата обращения 08.05.2023).

Предотвращенный ущерб защищаемого промышленного объекта максимизируется, а затраты на организацию взаимодействия между противовоздушной и противопожарной системами и применение пожарных подразделений минимизируются [11, 12].

Рассмотрим практическую ситуацию: ударный БПЛА производит полёт на низкой высоте для подлёта к промышленному объекту защиты и нанесения по нему удара посредством сброса своего боеприпаса или в результате самоподрыва на объекте защиты (рис. 2).

Это может быть необходимо для того, чтобы БПЛА мог подлететь к объекту защиты и нанести удар по нему.

Чем ближе БПЛА приближается к зоне поражения комплексом ПВО, тем быстрее растёт эффективность комплекса по его обнаружению. Однако, эффективность комплекса ПВО растёт не так эффективно при распозна-

вании потенциального объекта удара для БПЛА, и при его последующем радиоэлектронном подавлении или огнем поражении [13].

В этой связи, комплекс ПВО находится также во взаимодействии с пожарным расчётом, который выдвигается из района сосредоточения к потенциальному объекту удара и запускает свой пожарный БПЛА. В этой связи, при обнаружении ударного БПЛА комплексом ПВО эффективность его падает. Однако, если ударный БПЛА не ликвидирован сразу после его обнаружения комплексом ПВО, то эффективность первого начинает расти по мере приближения его к объекту защиты. Эффективность защиты объекта вначале невысока из-за задержек в обнаружении комплексом ПВО ударного БПЛА и в выдвигении пожарного расчёта, но, в дальнейшем, эффективность защиты объекта повышается.

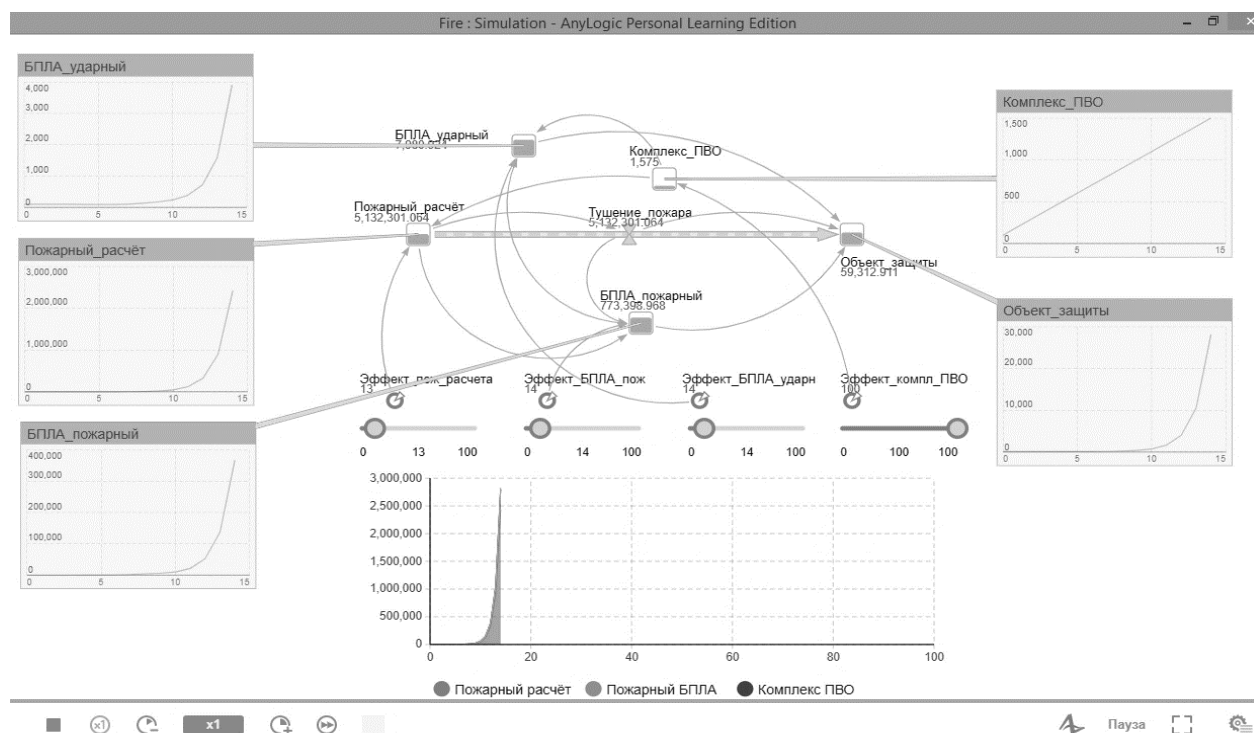


Рис. 2. Моделирование действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров на промышленных объектах

С помощью приведенного метода возможно описывать различные практические ситуации и более сложные процессы при ведении боевых действий по тушению пожаров.

Таким образом, в данной статье предложен принцип моделирования ведения бое-

вых действий методом электрогидравлических аналогий.

Показана возможность определить динамику технического состояния элементов модели «ведения боевых действий пожарным подразделением вооружённым БАС» используя пакет прикладных программ AnyLogic.

Список литературы

1. Модель циклического мониторинга природных пожаров затяжного характера / М. О. Баканов, Д. В. Тараканов, А. В. Кузнецов [и др.] // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. № 2 (40). С. 14–19
2. Борисова В. А., Егоров А. А. Беспилотная авиация как средство доставки огнетушащих веществ в зону горения пожаров и загораний // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. С. 240–243.
3. Мареев М. А., Денисов А. Н. Анализ методов и моделей поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 34–42.
4. Костишин В. С. Моделирование режимов работы центробежных насосов на основе электрогидравлической аналогии. Иванов-Франковск: ИФДТУНГ. 2000. 115 с.
5. Мареев М. А., Денисов А. Н. Особенности применения метода электрогидравлических аналогий для поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 22–29
6. Мареев М. А., Денисов А. Н., Михайлин П. О. Поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении боевых действий, в условиях дестабилизации функционирования социальной и экономической сферы государства в результате вооруженного конфликта // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 33–37
7. Емец С. В., Трегубова Л. А. Метод электрогидравлических аналогий при моделировании системы измерения количества и показателей качества нефти // Перспективы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа. Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-технической конференции. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2020. С. 211–215.
8. Храмушин В. Н. Трехмерная тензорная математика вычислительных экспериментов в гидромеханике. Владивосток: ДВО РАН, 2005. 212 с.
9. Nelson William. Use of Circular Error Probability in Target Detection (англ.): journal. Bedford, MA: The MITRE Corporation; United States Air Force, 1988.
10. Кимстач И. Я., Девлищев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика. М.: Стройиздат, 1984. 590 с.
11. Денисов А. Н., Данилов М. М., Гундар С. В. Организация тушения пожаров и подготовки пожарно-спасательных гарнизонов:

учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. 127 с.

12. Slaby C., Wibel A. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg, Bruchsal, 2012. 22 p.

13. Мареев М. А. Поддержка управления при ведении боевых действий по тушению пожаров в случаях с ударными беспилотными летательными аппаратами // Проблемы технической безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. М.: Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 219–225

References

1. Model' tsiklicheskogo monitoringa prirodnykh pozharov zatyazhnogo kharaktera [Model of cyclic monitoring of protracted wildfires] / M. O. Bakanov, D. V. Tarakanov, A. V. Kuznetsov [et al.]. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*, 2019, vol. 2 (40), pp. 14–19.
2. Borisova V. A., Egorov A. A. Bespilotnaya aviatsiya kak sredstvo dostavki ognetushashchikh veshchestv v zonu gorenija pozharov i zagoraniy [Unmanned aircraft as a means of delivering extinguishing agents to the zone of burning fires and ignitions Gorenje]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2017, pp. 240–243.
3. Mareev M. A., Denisov A. N. Analiz metodov i modeley podderzhki upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov [Analysis of methods and models of management support for fire and rescue units in extinguishing fires]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022. vol. 2 (43), pp. 34–42.
4. Kostishin V. S. *Modelirovaniye rezhimov raboty tsentrobezhnykh nasosov na osnove elektrogidravlicheskoy analogii* [Modeling of operating modes of centrifugal pumps based on electrohydraulic analogy]. Ivanovo-Frankovsk: IFDTUNG. 2000. 115 p.
5. Mareev M. A., Denisov A. N. Osobennosti primeneniya metoda elektrogidravlicheskiy analogiy dlya podderzhki upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov [Features of using the method of electro-hydraulic analogies to support the management of fire and rescue units when extinguishing fires]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022, vol. 3 (44), pp. 22–29.
6. Mareev M. A., Denisov A. N., Mikhailin P. O. Podderzhka upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami pri vedenii boyevykh deystviy, v usloviyakh destabilizatsii funktsionirovaniya sotsial'noy i ekonomicheskoy sfery gosudarstva v rezul'tate vooruzhennogo

konflikta [Support for the management of fire and rescue units during combat operations, in conditions of destabilization of the functioning of the social and economic sphere of the state as a result of an armed conflict]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 2 (47), pp. 33–37

7. Emets S. V., Tregubova L. A. Metod elektrogidravlicheskih analogiy pri modelirovanii sistemy izmereniya kolichestva i pokazateley kachestva nefti [The method of electrohydraulic analogies when modeling a system for measuring the quantity and indication of oil]. *Perspektivy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov dobychi, transporta i pererabotki nefti i gaza. Sbornik nauchnykh trudov IX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskii universitet, 2020. pp. 211–215.

8. Khrumushin V. N. *Trekhmernaya tenzornaya matematika vychislitel'nykh eksperimentov v gidromekhanike* [Three-dimensional tensor mathematics of computational experiments in fluid mechanics]. Vladivostok: DVO RAN, 2005. 212 p.

9. Nelson William. Use of Circular Error Probability in Target Detection (англ.): journal.

Bedford, MA: The MITRE Corporation; United States Air Force, 1988.

10. Kimstach I. Ya., Devlishchev P. P., Evtyushkin N. M. *Pozharnaya taktika* [Fire tactics]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 590 p.

11. Denisov A. N., Danilov M. M., Gundar S. V. *Organizatsiya tusheniya pozharov i podgotovki pozharo-spasatel'nykh garnizonov: uchebnoye posobiye* [Organization of fire extinguishing and training of fire and rescue garrisons: a textbook]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2020. 127 p.

12. Slaby C., Wibel A. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg, Bruchsal, 2012. 22 p.

13. Mareev M. A. Podderzhka upravleniya pri vedenii boyevykh deystviy po tusheniyu pozharov v sluchayakh s udarnymi bespilotnymi letatel'nyimi apparatami [Management support in conducting combat operations to extinguish fires in cases with attack unmanned aerial vehicles]. // *Problemy tekhnosfernoy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov*. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2024, pp. 219–225

Мареев Михаил Александрович

Главное управление пожарной охраны МЧС России

Российская Федерация, г. Москва

старший инспектор

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Mareev Mikhail Alexandrovich

Fire Main Office EMERCOM of Russia

Russian Federation, Moscow

Chief Inspector

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

УДК 614.842.6

ОРГАНИЗАЦИЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО УРОВНЯ С МАССОВЫМ СОСРЕДОТОЧЕНИЕМ ЛЮДЕЙ

А. В. ПОТАХОВ, Р. С. ЛЕОНОВ

Главное управление Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Краснодарскому краю
Российская Федерация, г. Краснодар
E-mail: fps_sakh@mail.ru; mrdedast@mail.ru

Анализ применяемых методов по планированию мероприятий при обеспечении безопасности мероприятий федерального уровня с массовым сосредоточением людей силами пожарно-спасательных подразделений федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы (далее — ФПС ГПС) демонстрирует отсутствие единой организованной системы принятия управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности данных мероприятий. Следовательно, мероприятия федерального уровня с большим сосредоточением людей на ограниченной площади представляют собой реальную угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций с возможными многочисленными человеческими жертвами, а также имиджевыми потерями государственной системы обеспечения безопасности на международной арене.

В целях выработки единых подходов по совершенствованию и структурированию системы управления при обеспечении пожарной безопасности в период проведения мероприятий федерального уровня с массовым сосредоточением людей существует актуальность в создании условий для разработки методов оптимального применения пожарных расчетов по тушению пожаров и ликвидации возникающих чрезвычайных ситуаций на объектах проведения мероприятий федерального уровня.

Ключевые слова: мероприятия федерального уровня, массовое сосредоточение людей, система принятия управленческих решений при обеспечении пожарной безопасности, ликвидация пожара, методы применения пожарных расчетов.

ORGANIZATIONS OF FIRE EXTINGUISHING IN FACILITIES USED DURING FEDERAL-LEVEL EVENTS WITH MASS CONCENTRATION OF PEOPLE

A. V. POTAKHOV, R. S. LEONOV

The Main Directorate of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters in the Krasnodar Territory
Russian Federation, Krasnodar
E-mail: fps_sakh@mail.ru; mrdedast@mail.ru

The analysis of the methods used for planning events when ensuring safety of the federal-level events with mass concentration of people by fire and rescue departments of the federal fire service of the State fire service shows absence of a unified management decision-making system for ensuring fire safety of the said events. Consequently, federal-level events with mass concentration of people within a limited area pose a real threat of various emergencies with numerous possible casualties as well as international image losses of the state security system.

Applying a scientific approach to improving and structuring the management system for ensuring fire safety during federal-level events with mass concentration of people will make it possible to adopt algorithms for the optimal use of fire crews to extinguish fires and respond to arising emergencies at federal-level events venues.

Key words: federal-level events, mass concentration of people, management decision-making system for ensuring fire safety, fire extinguishing, methods for using fire crews.

В целях регионального развития, а также создания положительного имиджа и политического влияния страны на мировой арене, на территории различных городов Российской Федерации создаются площадки проведения международных, особо значимых мероприятий федерального уровня с массовым сосредоточением людей (далее — федеральные массовые мероприятия).

За последнее десятилетие можно выделить наиболее крупные международные мероприятия федерального уровня:

- XXII Олимпийские зимние игры и XI Паралимпийские зимние игры в г. Сочи (2014 г.)
- Чемпионат мира по футболу (2018 г.)
- XXVII Всемирная зимняя Универсиада в г. Красноярске (2019 г.)
- Российско-Африканский саммит в г. Сочи (2019)
- Всемирный фестиваль молодёжи в г. Сочи (2024 г.)
- Восточный экономический форум стран АТЭС, в г. Владивостоке (ежегодно с 2015 г.).

Массовое мероприятие — это общественно-политическое, спортивное, культурное или другое организованное событие, с привлечением большого количества участников, посетителей, туристов и местных жителей, которое обычно проводится на крупных общественных объектах, но иногда и на открытых площадках.

Организация и осуществление тушения пожаров на мероприятиях с массовым пребыванием людей реализуется компетентными пожарными и спасательными подразделениями в целях спасения людей и имущества и (или) снижения до минимально возможного уровня воздействия факторов риска, характерных для пожаров и чрезвычайных ситуаций. В соответствии с Федеральным законом № 69-ФЗ¹ и Постановлением Правительства РФ № 385², организация и осуществление тушения пожаров при проведении мероприятий федерального уровня с массовым сосредоточением людей возложена на пожарно-спасательные подразделения ФПС ГПС.

Острота проблемы обусловлена несколькими причинами, возникшими в последние годы. Во-первых, это рост числа массовых беспорядков в период проводимых мероприя-

тий; во-вторых, наличие угрозы террористических актов; в-третьих, как следствие вышеперечисленных рисков, возрастание вероятности возникновения различного рода аварий, пожаров. Следовательно, массовые мероприятия с большим сосредоточением людей на ограниченной площади представляют собой реальную угрозу возникновения пожаров и различных чрезвычайных ситуаций с возможными многочисленными человеческими жертвами.

Проведение федеральных массовых мероприятий выдвигает на первое место проблему обеспечения общественной безопасности. Её решение может быть достигнуто только при условии эффективной работы всех специальных служб, в сферу деятельности которых входят меры по соблюдению общественного порядка, защите жизни и здоровья граждан. Подразделения пожарно-спасательного гарнизона составляют основное звено сил и средств, которые привлекаются к обеспечению безопасности массовых мероприятий, справедливо отнесенных к «событиям риска». В данной статье рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности в исключительной компетенции подразделений ФПС ГПС МЧС России.

Планирование задач по обеспечению пожарной безопасности федеральных массовых мероприятий силами пожарно-спасательных подразделений ФПС ГПС в свою очередь решается за счет эффективного взаимодействия и слаженности сил и средств местного пожарно-спасательного гарнизона и служб жизнеобеспечения, исходя из различных факторов. Основные из них — это количество участников и задействованных объектов; сроки проведения мероприятий; наличие лиц, находящихся под государственной охраной.

Стратегия управления уровнем безопасности должна строиться на выборе уровня риска в пределах от минимального (пренебрежительно малого для конкретного объекта) до максимального. При этом ущерб должен быть минимизирован, а между необходимыми затратами на повышение уровня безопасности и ожидаемой выгодой для каждого объекта должен быть найден достижимый компромисс. При этом безопасность жизни и здоровья людей остаётся приоритетом. Соответственно действия пожарно-спасательных подразделений обеспечивающих безопасность мероприятий с массовым сосредоточением людей должны быть направлены на ограничение развития опасных факторов пожара до достижения времени, когда начнется их воздействие на людей.

Для установления численных характеристик процесса эвакуации взят за основу многовариантный расчет параметров движения

¹ О пожарной безопасности: Федеральный закон № 69-ФЗ [принят Государственной думой 18 ноября 1994 года]. Москва: «Российская газета» № 35, 2003. 42 с.

² Постановление Правительства РФ от 20.06.2005 № 385 «О федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы».

людских потоков в типовых зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. При этом необходимо учитывать, что расчёты выполнялись с учётом допущений, которые учитывали равномерность движения людских потоков, оперативное реагирование толпы на сообщение об эвакуации и эвакуацию по определённому маршруту.

В частности, большинство эвакуируемых (до 90 процентов) способны оценить ситуацию и рационально действовать во время эвакуации, но они испытывают страх и могут передавать его друг другу, что приводит к панике. В больших группах людей есть от 10 до 20 процентов тех, кто потенциально склонен к панике и имеет выраженное психическое расстройство, которое может затронуть большое количество людей. Склонность к паническому поведению зависит от организации группы, которая определяется культурным уровнем и социальным статусом ее членов. Наиболее организованные группы состоят, например, из служащих, рабочих и студентов. Согласно статистическим данным, люди с ограниченными физическими возможностями (инвалиды) составляют около 3 % всего населения, пожилых людей и детей, соответственно, 9 и 4 процента. Кроме того, около 10 % населения имеют замедленную реакцию, плохую подвижность и склонность к стрессам, не могут двигаться со скоростью людского потока из-за планового приема лекарств. Это способствует паническому поведению, вызывая задержки при передвижении, или даже впадение в ступор.³

Чаще всего мероприятия с массовым сосредоточением людей проводятся на стадионах, общественно-концертных залах, в крупных учебных заведениях. Например, для исследования были выбраны здания большой спортивной арены олимпийского комплекса «Лужники» (г. Москва), общеуниверситетского

студенческого центра ДВФУ (г. Владивосток), здания центрального стадиона «Фишт» и Главного Медиацентра (ФТ «Сириус», г. Сочи). Результаты показывают, что нормативное время эвакуации в офисных зданиях должно составлять 5–8 минут, а эвакуация из крупных общественных центров 8–13 минут. Объектами, на которых проводятся данные мероприятия, могут иметь размеры в плане от 100 до 400 метров, а площадь одного этажа здания составляет десятки тысяч квадратных метров.

Наиболее развитая практика обеспечения пожарной безопасности объекта проведения федерального массового мероприятия, заключается в выставлении на дежурство в непосредственной близости от объекта (здания) пожарного расчета (отделения) на основной пожарной технике подразделения ФПС ГПС МЧС России. В составе расчёта: начальник караула, командир отделения, 3 пожарных и водитель.

Принимаем, что объекты, где проводятся федеральные массовые мероприятия, соответствуют требованиям пожарной безопасности, а также оснащены системами пожарной сигнализации и дымоудаления, время с момента возникновения до обнаружения пожара составляет не более 1 минуты, но доведение информации о месте возникновения и развитии пожара от представителей объекта до дежурного пожарного расчета может составлять несколько минут. При расчете времени подачи звеном ГДЗС ствола первой помощи с использованием рукавной линии в зону горения, в зависимости от габаритов здания и особенностей прилегающей территории, учитывается время на маневр пожарного автомобиля и проведение боевого развертывания навстречу движущимся потокам эвакуирующихся людей.

Время свободного развития пожара формируется из следующих показателей:



Рис. 1. Реагирование пожарного расчета от АЦ

³ Расчёт времени эвакуации людей при пожаре: методические указания к практической работе по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» / Юго-Зап. гос. Ун-т; сост.: Е.А. Шевлякова, В.В. Протасов, Курск, 2018. 19 с.

Соответственно время свободного развития пожара при благоприятном стечении обстоятельств может составлять не менее 5 минут, в иных случаях превышать 10 минут. При этом действия подразделений пожарной охраны направлены на тушение возгорания после завершения эвакуации, когда воздействие на людей опасных факторов пожара уже отсутствует.

Наряду с приведенным выше подходом тушения пожаров на объектах проведения федеральных массовых мероприятий может быть осуществлено в виде выставления пеших постов (дозоров) внутри здания. Дозорный — сотрудник ФПС ГПС МЧС России, оснащённый специальным снаряжением, таким как: специальный костюм МЧС России, средства тушения (огнетушитель, кошма), комплект для оказания первой помощи. Такой набор снаряжения позволяет дозорному решать возложенные на него задачи по оперативному реагированию на возникновение возможных пожаров на объекте при проведении федеральных массовых мероприятий. В качестве средств тушения, так же

могут использоваться огнетушители и пожарные краны, расположенные на этажах объекта. Каждый дозорный, благодаря связи с администрацией объекта, способен осуществить контроль в радиусе 100–120 метров, в зависимости от сложности планировки на объекте.

Учитывая оперативно-тактические и конструктивные особенности объектов, на этапе планирования размещения постов, время с момента возникновения до обнаружения пожара должно составлять не более 1 минуты. В соответствии со сборником упражнений по профессиональной подготовке личного состава ФПС ГПС «Об утверждении Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы» распоряжение МЧС России от 04.12.2023 № 1020⁴, упражнения «Подача ствола первой помощи от пожарного крана» (6.4.1.) и «Тушение очага пожара с помощью огнетушителя» (6.4.3.) на оценку «удовлетворительно» составляет 10 секунд.



Рис. 2. Реагирование пожарного расчета (дозора)

Исходя из условий достаточности внутренних систем пожаротушения на данных объектах, реагирование пожарных расчетов может обеспечить подачу огнетушащих веществ на начальной стадии развития пожара, в течение 2–3 минут, т.е. до достижения времени, когда начнется воздействие опасных факторов пожара на людей.

В подтверждение сказанных слов, были проведены пожарно-тактические учения по тушению пожара в гостиничном комплексе ООО «Газпром Ямал» (Туапсинский район, Краснодарский край). Разбор пожарно-тактического учения показал, что личный состав подразделений, зная внутреннюю планировку объекта, организовал подачу огнетушащих веществ в

зону горения на 6 этаже только спустя 17 минут от возникновения условного пожара.

В свою очередь, пожарный дозор, обнаружил и ликвидировал условный пожар в течение 3 минут от момента возникновения. Тем самым не допустил дальнейшего его распространения, а также угрозы для жизни и здоровья граждан.

⁴ Распоряжение МЧС России от 04.12.2023 № 1020 «Об утверждении Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».

Преимущество варианта обеспечения пожарной безопасности массовых мероприятий силами пеших пожарных расчетов (дозоров) внутри здания выражается:

- в оперативном обнаружении пожара и оценке складывающейся обстановки по результатам проведенной разведки пожара;
- в квалифицированном принятии управленческих решений по организации спасательных работ и действий по тушению пожара, наращивание сил и средств;
- в подаче огнетушащих веществ на начальной стадии развития пожара;
- в случае необходимости массовой эвакуации людей, координации действий должностных лиц объекта, ответственных за обеспечение безопасности;
- в возможности наращивания сил и средств, организация встречи прибывающих пожарно-спасательных подразделений и подготовка условий для их эффективного применения.

Методы и порядок планирования действий пожарных расчетов избираются, исходя из реальной обстановки и сложностей достижения целей по обеспечению безопасности при проведении мероприятий федерального

уровня с массовым сосредоточением людей, с учетом значимости и полноты исходных данных, особенностей поставленных задач и других факторов. Организация взаимодействия по обеспечению безопасности между пожарно-спасательными подразделениями, службами жизнеобеспечения и представителями объекта, формируется на этапе планирования и отработывается (корректируется) в ходе пожарно-тактических учений и тактико-специальных тренировок на объектах проведения мероприятий с массовым сосредоточением людей.

В данной статье, аналитическая и практическая работа авторов предлагает метод обеспечения пожарной безопасности проводимых мероприятий и направлена на создание единых подходов при предварительном планировании достаточности сил и средств пожарной охраны. Соответственно, наличие типовых решений по обеспечению пожарной безопасности объектов, в частности, позволит создать условия, для разработки алгоритмов принятия управленческих решений и комплекса мероприятий по организации деятельности пожарно-спасательных гарнизонов в период проведения крупных международных мероприятий.

Список литературы

1. Денисов И. П., Подгрушный А. В., Денисов А. Н. Управление пожарными и спасательными подразделениями при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей // *Пожаровзрывоопасность*, 2010. Т. 19. № 10. С. 46–52.
2. Камилов М. А. Соотношение дефиниций «Массовые мероприятия», «Публичные мероприятия» и «Массовые публичные мероприятия» в российском праве // *Журнал научных и прикладных исследований*. 2016. № 2. С. 56.
3. Обеспечение пожарной безопасности по антитеррористической защищенности объектов с массовым пребыванием людей / А. И. Фомин, Д. А. Бесперстов, О. В. Рудюк [и др.] // *Безопасность жизнедеятельности*. 2020. № 2. С. 23–26.

References

1. Denisov I. P., Podgrushnyi A. V., Denisov A. N. Upravleniye pozharnymi i spasatel'nymi pod-razdeleniyami pri provedenii meropriyatiy s massovym sosredotocheniyem lyudey [Fire and rescue divisions management during events with mass concentration of people]. *Pozharovzryvoopasnost'*, 2010. vol. 19, issue 10, pp.46–52;
2. Kamilov M. A. Sootnosheniye definitsiy «Massovyye meropriyatiya», «Publichnyye meropriyatiya» i «Massovyye publichnyye meropriyatiya» v rossiyskom prave [Correlation of the definitions “Mass events”, “Public events” and “Mass public events” in Russian law]. *Zhurnal nauchnykh i prikladnykh issledovaniy*, 2016. issue 2, p. 56.
3. Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti po antiterroristicheskoy zashchishchennosti ob»yektov s massovym prebyvaniyem lyudey [Ensuring fire safety and anti-terrorist protection of facilities with large numbers of people] / A. I. Fomin, D. A. Besperstov, O. V. Rudyuk [et al.]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2020, issue 2, pp. 23–26.

Потахов Андрей Викторович

Главное управление Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

по Краснодарскому краю

Российская Федерация, г. Краснодар

заместитель начальника Главного управления (по Государственной противопожарной службе)

E-mail: fps_sakh@mail.ru

Potakhov Andrey Viktorovich

The Main Directorate of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,

Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters in the Krasnodar Territory

Russian Federation, Krasnodar

Deputy Head of the Main Department (State Fire Service)

E-mail: fps_sakh@mail.ru

Леонов Руслан Сергеевич

Главное управление Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

по Краснодарскому краю

Российская Федерация, г. Краснодар

главный специалист управления организации пожаротушения

и проведения аварийно-спасательных работ

E-mail: mrdedast@mail.ru

Leonov Ruslan Sergeevich

The Main Directorate of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,

Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters in the Krasnodar Territory

Russian Federation, Krasnodar

Chief specialist of the management of the fire extinguishing organization and emergency and rescue operations

E-mail: mrdedast@mail.ru

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

УДК 504.004:69.003

**СЦЕНАРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКОВ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Е. Э. СМЕРНОВА¹, М. Ю. СЛЕСАРЕВ², М. А. МОЗАФФАРИ²

¹ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург.

² ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет,
Российская Федерация, г. Москва.

E-mail: esmirnovae@yandex.ru, slesarev@mgsu.ru, m.mozaffari2021@gmail.com

В статье затрагивается тема оценки риска с целью обоснования экологической безопасности строительства. Несмотря на то, что правовой системой накоплен достаточный объем документов (ГОСТов), регламентирующих цели и задачи оценки рисков с целью снижения негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду, методам по оценке экологического риска в строительстве не уделяется достаточного внимания. Авторами решается задача найти оптимальное распределение средств, направленных на снижение вероятности незавершения проектов в сфере строительства, и средств на предотвращение возможного ущерба окружающей среде. Сопоставлены методы определения величины затратного риска (например, метод нераспределенных будущих расходов (НБР)) при проектировании и строительстве объектов. Количественная оценка риска была проведена с использованием метода Монте-Карло. Разработаны сценарии развития рискованных ситуаций и определены их параметры. Достижение желаемого уровня достоверности в отношении реализации проекта позволяет нивелировать риски, связанные с обеспечением экологической безопасности в строительстве и принятия оптимальных решений в условиях неопределенности. На основе сценарного подхода предложен законченный алгоритм использования сценариев затратного риска для обеспечения природоохранных мероприятий, прописанных в российских стандартах, снижения производственных затрат и достижения международного уровня экономии средств и ресурсов.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, оценка затратного риска, риск, сценарный подход, экологическая безопасность

**SCENARIO APPROACH TO RISK ASSESSMENT TO ENSURE ENVIRONMENTAL
SAFETY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

E. E. SMIRNOVA¹, M. Yu. SLESAREV², M. A. MOZAFFARI²

¹Federal State budgetary educational Institution of higher Education
«Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering»,
Russian Federation, Saint Petersburg

²Federal State budgetary educational Institution of higher Education
«National Research Moscow State Construction University»,
Russian Federation, Moscow

E-mail: esmirnovae@yandex.ru, slesarev@mgsu.ru, m.mozaffari2021@gmail.com

The article deals with the topic of risk assessment in order to justify the environmental safety of construction. Despite the fact that the legal system has accumulated a sufficient amount of documents (GOSTs) regulating the goals and objectives of risk assessment to reduce the negative impact of economic activity on

the environment, the methods of environmental risk assessment in construction are not given sufficient attention. The authors solve the problem of finding the optimal distribution of funds aimed at reducing the probability of non-completion of projects in the field of construction and funds to prevent possible damage to the environment. Methods for determining the value of cost risk (e.g., the method of unallocated future costs (UFC)) in the design and construction of projects are compared. Quantitative risk assessment was carried out using the Monte Carlo method. Risk scenarios were developed and their parameters were determined. Achievement of the desired level of reliability in relation to the project implementation allows levelling the risks associated with ensuring environmental safety in construction and making optimal decisions under conditions of uncertainty. On the basis of the scenario approach, a complete algorithm for using cost risk scenarios is proposed to ensure environmental protection measures prescribed in Russian standards, reduce production costs and achieve an international level of cost and resource savings, which will bring an increased environmental and economic effect.

Key words: Monte Carlo method, cost risk assessment, risk, scenario approach, environmental safety.

С момента внедрения математических методов появилось множество моделей разной степени сложности. Задачи, для решения которых применяется метод Монте-Карло, имеют место в различных сферах [1]. В ситуации неопределенности следует применять метод Монте-Карло; он позволяет пользователям выбирать любой метод анализа исходных данных, если эти данные заданы с интервальной вероятностью. Представление конечных результатов в виде вероятностных кривых облегчает работу исследователей на всех этапах обработки данных по выявлению закономерностей размещения и формирования, прогноза, поиска и оценки исследуемого объекта. Эффективные сетевые технологии, основанные на методе Монте-Карло, применимы ко многим инженерным приложениям, основанным на скоординированном распределении ресурсов и решении проблем в динамически изменяющихся виртуальных организациях с большим количеством участников [2].

Метод моделирования Монте-Карло – мощный инструмент для решения сложных инженерных задач со многими случайными величинами [3]. Абсолютная погрешность результатов измерений при вычислениях предложенным методом крайне мала. По мнению Г. Чена и др. (Chen et al.), благодаря своей точности этот метод используется при анализе неопределенности [4]. Разработанный код Монте-Карло дает удовлетворительные прогнозы относительно желаемых значений [5]. Математическое моделирование с использованием метода Монте-Карло затронуло все отрасли науки, как теоретические, так и практические. Метод применяется для оценки корректности используемой процедуры моделирования и выделения лучших параметров модели [6]. Специалисты все чаще используют этот метод в различных областях техники, оценивая вклад неопределенности в модели [7].

В последнее время тема чувствительности метода Монте-Карло для обеспечения экологической безопасности эволюционировала с учетом неопределенных предположений о входных данных. Этот метод хорошо зарекомендовал себя при оценке риска воздействия токсичных веществ на экосистему [8]. В статье Е. Ли (Lee) представлен метод Монте-Карло для определения консервативного предела истощения топлива реактора с водой под давлением (PWR) в отношении средней температуры, внутреннего давления и отклонения измерения деформации. Установленные автором статьи ограничения реактора стали существенными для природоохранных органов [9]. К. Ох и В. Нам (Oh & Nam) использовали данный метод для прогнозирования изменений в динамическом поведении морских конструкций в целях безопасности, поскольку движение грунта на морском дне является стохастическим [10]. Метод Монте-Карло в 5,8 раз быстрее обычного метода оценки вероятности отказа оборудования. По мнению Дж. Оливера и др., цепочка вероятностного анализа рисков с непрерывным моделированием может дать более подробную картину рисков наводнений [11]. Что касается литературы по эффективности экологической безопасности гражданского и промышленного строительства, то ее очень мало [12]. Многие другие работы лишь частично затрагивают тему экологической безопасности, без ссылки на метод Монте-Карло для оценки риска [напр., 13-16].

Как показал обзор литературы, метод Монте-Карло подтвердил свою значимость и широкую область применения в различных областях науки и техники; однако применения для обеспечения экологической безопасности он не нашел из-за трудностей с определением исходного типа распределения.

Перед авторами стояла задача найти оптимальное распределение средств, направленных на снижение вероятности незаверше-

ния проектов в сфере строительства, и средств на предотвращение возможного ущерба окружающей среде, а также проанализировать и сопоставить методы определения величины затратного риска в строительстве. Объект исследования – риск-ориентированный сценарный подход для оценки затратных рисков строительных проектов. Предмет исследования – применение метода Монте-Карло с целью обеспечения экологической безопасности строительства [17]. Основная цель: провести исследование по формированию законченного алгоритма использования сценариев риска в экологической безопасности строительства. В связи с целью перед авторами стоят следующие задачи:

1. Разработать сценарии развития рисков ситуаций, определить их параметры;
2. Проанализировать характеристики каждого сценария риска и провести их сравнительную оценку;
3. Определить наиболее значимые риски, влияющие на развитие рассматриваемых сценариев;
4. Применить метод Монте-Карло как инструмент анализа рисков.

Для оценки экологического риска строительных проектов авторы разработали методологию, основанную на стохастическом моделировании методом Монте-Карло [18]. В основе методологии лежит формула минимизации рисков с контролируемыми параметрами, которая позволяет учесть влияние неопределенности на результаты моделирования. Распределение вероятности риска определяется значениями среднего μ и сигма (шкалы) отклонения σ . Тип формы распределения позволяет оценить, как одно и то же воздействие будет влиять на объект в зависимости от его состояния [19]. Метод Монте-Карло позволяет построить математическую модель объекта с неопределенными значениями параметров и получить распределение сценарных потоков в графическом или аналитическом выражении.

Обычный способ включения неопределенности в моделирование заключается в оценке входных значений. Это означает, что сначала необходимо определить распределение вероятностей для каждой неизвестной переменной, а затем использовать их для создания выходных данных моделирования. По мнению большинства авторов, использование моделирования Монте-Карло состоит из пяти этапов:

- сбор данных в интервалах классов для создания частотной гистограммы;
- определение распределения для функции плотности вероятности;

- реализация моделирования с числом повторений n ;

- оценка того, подходит ли количество симуляций;

- создание кумулятивной функции плотности вероятности для анализа результатов [20].

В случае, когда модель неизвестна, стратегией является оценка распределения с наивысшей энтропией в соответствии с существующими знаниями. Этот подход позволяет оптимально выбирать входное распределение, используя только ограниченную информацию о переменных. Стохастическая имитационная модель должна содержать хотя бы одну случайную величину. Случайная величина представляет собой численное представление результата случайного эксперимента. Преимущества методов моделирования заключаются в простоте восприятия результатов анализа, их широкой практической применимости для координации инвестиционных решений, ранжирования проектов, оценки потенциальных убытков и обоснования рациональных решений.

Для анализа изменения нескольких переменных параметров при строительстве объекта использовалась методика анализа сценариев возникновения и развития нежелательных событий (например, ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска»). Этот метод позволяет определить вероятностный диапазон изменений явления при наиболее неудачных или наиболее успешных изменениях внутренних или внешних параметров. Также применялся метод нераспределенных будущих расходов (НБР) для анализа затратного риска и достижения желаемого уровня достоверности в отношении реализации проекта. Основная идея данного исследования состоит в том, чтобы дополнить применение вышеупомянутых методов сценарным подходом. Это позволит изучить проблему предупреждения рисков в строительстве и принятия решений в условиях неопределенности, связанной с этими событиями.

Статья может быть полезна и даже необходима для изучения специалистам экологических аспектов строительства по ряду причин. Во-первых, авторами поднимается проблема понимания экономических последствий экологических рисков. Строительные проекты могут иметь множество экологических рисков, таких как загрязнение окружающей среды, штрафы за нарушение природоохранного законодательства, иски от третьих лиц. Авторы демонстрируют, как можно оценить финансовый ущерб от таких рисков, что позволяет специалистам по экологии более аргументированно доказывать руководству необ-

ходимость инвестиций в экологические мероприятия; разрабатывать экономически обоснованные планы по снижению экологических рисков; осуществлять выбор наиболее эффективных с точки зрения затрат природоохранных решений. Во-вторых, авторы затрагивают вопрос об учете экологических факторов в процессе планирования строительства. Статья показывает, как можно интегрировать оценку экологических рисков в общий процесс планирования строительства. Что это дает? Это позволяет: (1) выбирать участки строительства с учетом их экологической привлекательности; (2) проектировать объекты с минимальным воздействием на окружающую среду; (3) разрабатывать план строительства, который минимизирует экологические риски. В-третьих, авторы уделяют внимание оценке эффективности экологических мероприятий. Статья позволяет оценить не только финансовый ущерб от экологических рисков, но и экономическую выгоду от реализации природоохранных мероприятий. Данный контекст дает возможность обосновать инвестиции в экологические мероприятия с точки зрения их экономической эффективности; выбирать наиболее эффективные с точки зрения затрат природоохранные решения; демонстрировать руководству и другим заинтересованным сторонам преимущества реализации экологических программ. В-четвертых, авторская разработка способствует повышению осведомленности специалистов по экологии о важности оценки затратного риска. В конечном счете, данное обстоятельство поможет улучшить качество принимаемых решений в области экологии; повысить уровень экологической безопасности строительства; снизить негативное воздействие строительства на окружающую среду.

При строительстве необходимо учитывать многомерный характер воздействия на компоненты окружающей среды. Один и тот же фактор может иметь как отрицательное, так и положительное влияние на экосистему. Однако величина риска, связанного с возможным повреждением через вероятность наступления события, должна оставаться в пределах нормированного допустимого значения, выраженного в количественной форме. Все возможные риски, угрозы, неопределенности, стратегии смягчения последствий должны быть четко определены количественно, а именно, с точки зрения вероятности их появления и предполагаемой стоимости. С этой целью ПНСТ 148–2016 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» рекомендует для идентификации риска применять анализ сценариев, метод Монте-Карло, байесовский анализ и ряд других техник

оценки риска. ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска» характеризует основные параметры метода Монте-Карло в качестве мощного инструмента для оценки рисков и решения других задач, связанных с неопределенностью. В частности, метод Монте-Карло может использоваться для оценки вероятности наступления риска, учитывая неопределенность в значениях входных параметров, и анализа вероятности наступления события, которое невозможно предсказать с помощью аналитических методов. Сильные стороны моделирования Монте-Карло включают:

- метод учитывает любое распределение во входной переменной;
- модели относительно просты в разработке и могут быть расширены по мере необходимости;
- любые влияния или отношения, включая такие эффекты, как условные зависимости, могут быть представлены;
- анализ чувствительности применяется для выявления сильных и слабых влияний;
- модели можно легко понять, поскольку соотношение между входами и выходами является прозрачным;
- обеспечивается определенная мера точности результата;
- программное обеспечение легкодоступно и относительно недорого.

Анализ риска по существу состоит из ответов на следующие вопросы: Что может случиться? Насколько вероятно, что это произойдет? Если это произойдет, каковы последствия?

Метод нераспределенных будущих расходов (НБР) и моделирование Монте-Карло. Неопределенность является причиной увеличения экологических издержек или снижения экологических выгод от строительства. Если при выборе площадки для строительства промышленного объекта не были учтены геологические особенности участка, то появится опасность загрязнения подземных вод. При проектировании здания следует обращать внимание на возможные изменения климата, в противном случае потребление энергии для отопления или охлаждения может увеличиться. В связи с этим оценка риска в строительной отрасли должна учитывать неопределенность. Для этого можно использовать различные методы, такие как:

- сценарный подход с разработкой различных сценариев развития событий, учитывающих разные уровни неопределенности (при выборе площадки для строительства может быть проведен анализ нескольких альтернативных вариантов с учетом неопределенно-

сти геологических условий и потенциальных рисков загрязнения окружающей среды);

- анализ чувствительности с оценкой того, как результат решения изменяется при изменении ключевых параметров, связанных с неопределенностью (при проектировании здания рекомендуется провести анализ того, как изменение стоимости энергоносителей повлияет на эффективность использования энергии);

- использование запаса прочности с применением более строгих экологических требований и нормативов для регулирования возможных негативных последствий неопределенности (при строительстве объекта более качественный строительный материал, который меньше загрязняет окружающую среду, будет адекватным решением данной проблемы);

- мониторинг и адаптация с регулярным наблюдением за состоянием окружающей среды и готовностью к адаптации проекта и применяемых технологий в случае изменения условий (при эксплуатации объекта имеет смысл организовать систему мониторинга выбросов загрязняющих веществ, позволяющую оперативно реагировать на любые отклонения от нормативных требований) [21–22].

В контексте указанных методов НБР как фактору достижения желаемого уровня

достоверности проекта следует уделять важнейшее внимание, поскольку они позволяют найти оптимальное распределение средств, направленных на снижение вероятности возникновения рисков ситуаций, и средств на предотвращение возможного ущерба окружающей среде [23].

Стоимостной риск должен тщательно и количественно оцениваться при разработке и представлении любой сметы затрат по нескольким причинам. Во-первых, когда проводятся проектные исследования, не поднимается проблема перерасхода средств. Единая оценка затрат, например, ожидаемая стоимость, может ввести в заблуждение инвесторов и разработчиков. Во-вторых, на этапах принятия решения о проверке, подтверждении и принятии решения о разрешении или продолжении работ смета расходов должна включать, соответствующим образом, выбранный уровень НБР для достижения желаемого уровня достоверности. Целью анализа затрат и рисков является создание достоверной функции распределения совокупной стоимости проекта (cumulative density function, CDF, или «S-образной кривой») для оценки затрат проекта. Рис. 1 показывает, что 68 % затрат будут находиться в желаемом диапазоне от 10 до 30 тыс. руб., а 16 % затрат будут находиться за пределами этого диапазона (рис. 1).

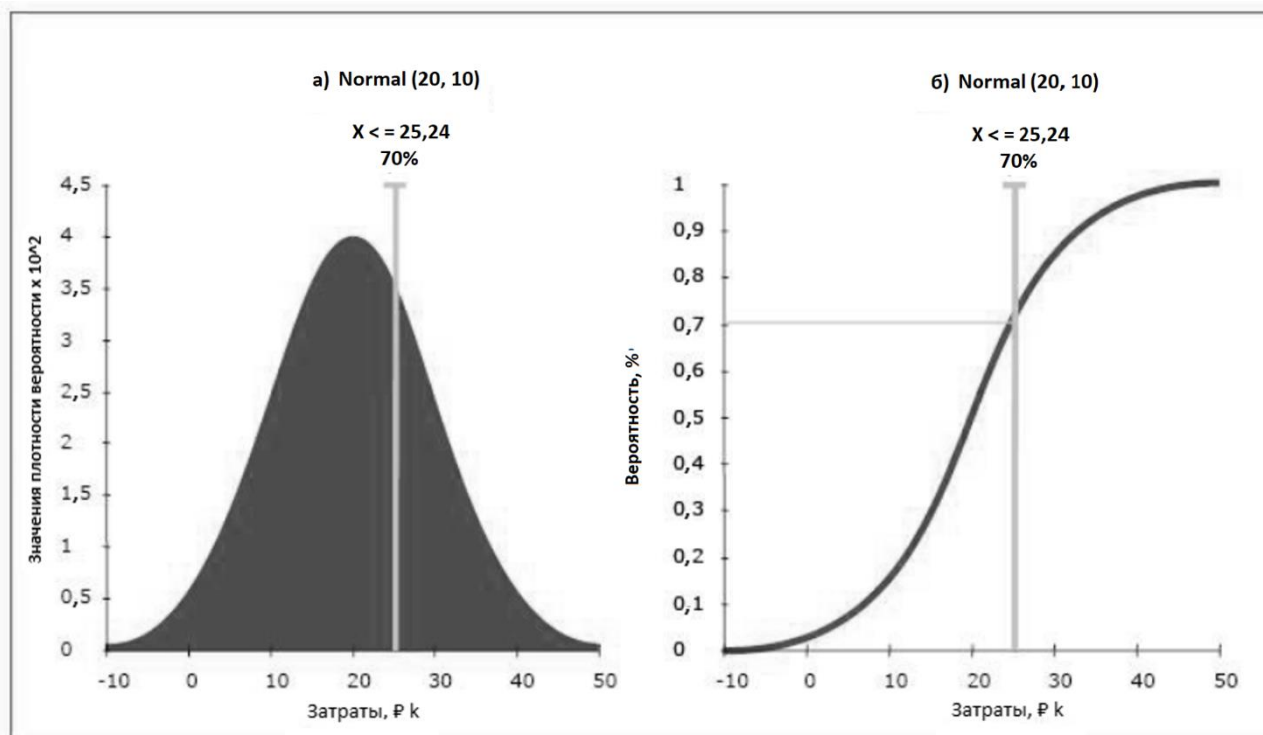


Рис. 1. Пример моделирования Монте-Карло: функция плотности вероятности (PDF) и эквивалентная ей функция кумулятивной плотности (CDF или S-кривая)

Формула S-образной кривой может использоваться для расчета совокупных затрат проекта на любом этапе его жизненного цикла [24]:

$$C(t) = A + (B - A)(t / T)^n, \quad (1)$$

где: $C(t)$ – совокупные затраты проекта на момент времени t ;

A – начальные затраты проекта;
 B – окончательные затраты проекта;
 T – продолжительность проекта;
 n – показатель эластичности затрат.

Затраты проекта растут экспоненциально по мере приближения к завершению проекта. Это предположение основано на том факте, что на поздних этапах обычно требуется больше ресурсов и усилий для завершения проекта. Показатель эластичности затрат n определяет, насколько быстро растут затраты проекта по мере приближения к завершению. Если n равно 1, то затраты проекта растут линейно, если n больше 1, то экспоненциально. Для проектов с высокой степенью неопределенности или риска показатель эластичности затрат, как правило, превышает 1.

Важно понимать, что при оценке стоимости проекта затраты представляют собой неопределенную величину, и точечная оценка не является единственно возможной. Рис. 2 показывает, что точечные оценки отдельных элементов проекта с использованием треугольного и нормального распределений можно определить количественно по-разному: как наиболее вероятное значение (mode), или 50-й процентиль (median), или ожидаемое значение (mean, вычисляется как сумма всех значений распределения вероятностей, разделенная на

количество значений, и в случае треугольного распределения ожидаемое значение находится между наиболее вероятным значением и медианой) (рис. 2).

Использование указанной терминологии подразумевает, что затраты носят статистический характер и определяются их вероятностными распределениями. Треугольное распределение требует трех входных данных для определения (наиболее вероятного, самого низкого и самого высокого) [20]. Их можно определить количественно, например, используя три сметы затрат для одного элемента проекта. Нормальный и логнормальный значения можно использовать, если известны среднее значение и стандартное отклонение [20]. Такой подход устраняет необходимость указывать минимальные и максимальные значения (рис. 3).

На рис. 3 показано, что для нормального распределения с параметрами $\mu=100$ и $\sigma=5,5$ вероятность того, что случайная величина примет значение, меньшее 94,53, составляет 16 %. Для логнормального распределения с параметрами $\mu=10$ и $\sigma=5,5$ вероятность того, что случайная величина примет значение, меньшее 5,26, также составляет 16 %. Нормальное распределение имеет более высокий пик в центре, чем логнормальное распределение, т. е. для нормального распределения более вероятно, что случайная величина примет значение, близкое к среднему. Хвосты логнормального распределения более длинные, чем у нормального распределения, т. е. для логнормального распределения более вероятно, что случайная величина примет очень большое или очень маленькое значение.

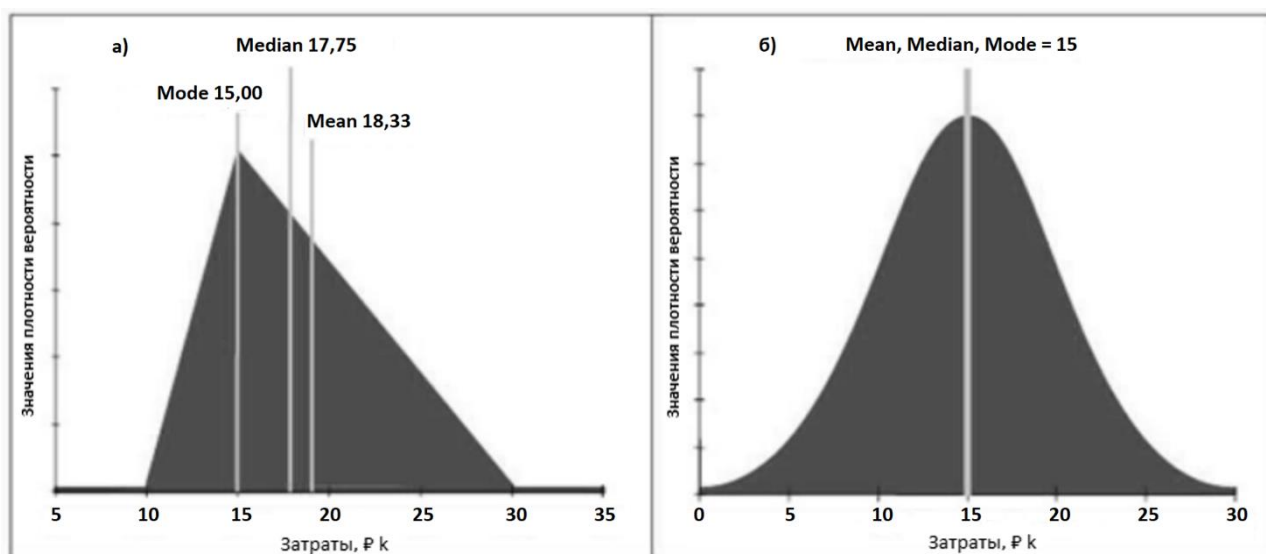


Рис. 2. Наиболее вероятное значение, 50-й процентиль и ожидаемое значение распределения по методу Монте-Карло

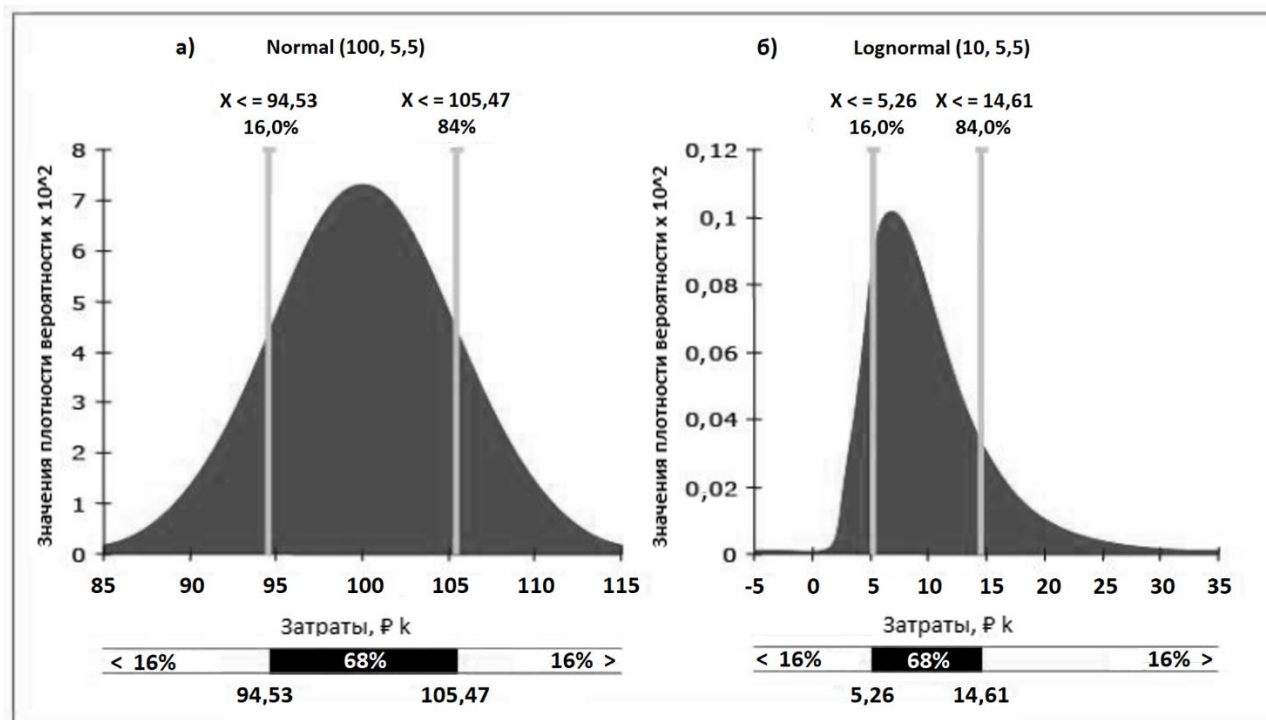


Рис. 3. Нормальное распределение и логнормальное распределение, значения которых представлены в виде плотности вероятности, т. е. вероятности того, что случайная величина примет данное значение

Перечислим мероприятия, связанные с разработкой оценки затратного риска, чтобы понять текущий уровень достоверности проекта и оценить сумму НБР, необходимую для достижения желаемого уровня достоверности:

- определить стоимостные факторы и риски проекта;
- разработать распределения вероятностей для технических и плановых факторов затрат;
- разработать вероятностные распределения неопределенности модели затрат;
- запустить модель риска;
- определить вероятность того, что фактическая стоимость будет меньше или равна точечной оценке;
- рассчитать достаточный НБР для достижения желаемого процентного уровня достоверности с детальным планом по каждому сценарию.

Смоделируем реальную ситуацию и оценим выбор защиты от опасных последствий, когда вероятность аварии принимает различные значения. Предположим, что один из приведенных ниже сценариев возможен при строительстве предприятия с известным значением вероятности риска P : При этом выбор каждого сценария обоснован вышеназванными мероприятиями, связанными с разработкой оценки затратного риска.

Сценарий 1 – Объект расположен в зоне риска наводнения. Вероятность наводнения составляет 0,3. Сумма средств, выделяемых на предотвращение чрезвычайных ситуаций и принятие мер по обеспечению экологической безопасности, не обеспечивает величину низкого риска из-за возможности нарушения ландшафта (например, наводнения). Вложение средств в поддержание надежности технической системы может быть неоправданным из-за негативного воздействия внешних факторов (табл. 1).

Таблица 1. Сценарий оценки риска при наводнении

1. Определение стоимостных факторов и рисков проекта	Стоимость строительства защитной дамбы или переноса объекта в более безопасное место.
Риски	Непредвиденные расходы на строительство или перенос объекта.
2. Разработка распределений вероятностей для технических и плановых факторов затрат (для каждого стоимостного фактора необходимо разработать распределение вероятностей, которое будет учитывать возможные отклонения от ожидаемой стоимости)	Стоимость строительства защитной дамбы возможно оценить с помощью треугольного распределения с параметрами: минимальное значение – 100 млн руб., среднее значение – 150 млн руб., максимальное значение – 200 млн руб. Данное распределение отражает то, что наиболее вероятная стоимость строительства дамбы – 150 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны.
3. Разработка вероятностных распределений неопределенности модели затрат (на основе распределений вероятностей для технических и плановых факторов затрат необходимо разработать вероятностное распределение неопределенности модели затрат, которое будет учитывать возможные отклонения от ожидаемой стоимости проекта в целом)	В данном случае применяется нормальное распределение с параметрами: среднее значение — 200 млн руб., стандартное отклонение — 50 млн руб. Прогноз наиболее вероятной стоимости проекта — 200 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны на величину до 50 млн руб.
4. Запуск модели риска (запустив модель риска, получают оценку вероятности того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна точечной оценке)	Для сценария 1 эта вероятность составляет 0,5.
5. Определение вероятности того, что фактическая стоимость будет меньше или равна точечной оценке (необходимо определить величину нераспределенных будущих расходов (НБР), которая обеспечит вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна точечной оценке не менее 90 %)	Для сценария 1 желаемый уровень достоверности составляет 90 %. Используя таблицу значений функции нормального распределения, определяют, что для уровня достоверности 90 % стандартное отклонение (т. е. величина НБР) должно составлять не более 13,5 млн руб.

Рекомендации: Для снижения риска наводнения необходимо построить защитную дамбу или переместить объект в более безопасное место. Стоимость строительства или переноса объекта составит 200 млн руб. Для достижения желаемого уровня достоверности необходимо предусмотреть нераспределенные будущие расходы в размере 13,5 млн руб.

Сценарий 2 – Строительство не соответствовало параметрам проектной документации из-за несоответствия требованиям обо-

рудования пожаротушения, и существует вероятность возникновения пожара. Вероятность пожара составляет 0,6. Сумма средств, выделяемых на предотвращение чрезвычайных ситуаций и принятие мер по обеспечению экологической безопасности, недостаточна для предотвращения пожара. Вложение средств в поддержание надежности технической системы может быть эффективным для предотвращения пожара (табл. 2).

Таблица 2. Сценарий оценки риска при пожаре

1. Определение стоимостных факторов и рисков проекта строительства	Стоимость ремонта или замены оборудования пожаротушения. Стоимость обучения персонала правилам пожарной безопасности.
Риски	Неэффективность ремонта или замены оборудования пожаротушения. Неэффективность обучения персонала правилам пожарной безопасности.
2. Разработка распределений вероятностей для технических и плановых факторов затрат (учет возможных отклонений от ожидаемой стоимости)	Проект возможно оценить с помощью треугольного распределения с параметрами: минимальное значение – 50 млн руб., среднее значение – 100 млн руб., максимальное значение – 150 млн руб. Данное распределение отражает то, что наиболее вероятная стоимость ремонта или замены оборудования пожаротушения – 100 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны.
3. Разработка вероятностных распределений неопределенности модели затрат	В данном случае применяется нормальное распределение с параметрами: среднее значение – 150 млн руб., стандартное отклонение – 25 млн руб. Прогноз наиболее вероятной стоимости проекта – 150 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны до 25 млн руб.
4. Запуск модели риска	Для сценария 2 вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна точечной оценке) составляет 0,75.
5. Определение вероятности того, что фактическая стоимость будет меньше или равна точечной оценке	Используя таблицу значений функции нормального распределения, определяют, что для уровня достоверности 90 % стандартное отклонение (т. е. величина НБР) должно составлять не более 10,25 млн руб.

Рекомендации: Для снижения риска пожара необходимо отремонтировать или заменить оборудование пожаротушения. Стоимость ремонта или замены оборудования пожаротушения составит 150 млн руб. Для достижения желаемого уровня достоверности необходимо предусмотреть НБР в размере 10,25 млн руб.

Сценарий 3 — В проектной стоимости строительства данного участка не учитывались параметры сейсмической безопасности. Сле-

довательно, существует риск повреждения или разрушения объекта во время землетрясения. Вероятность землетрясения составляет 0,1. Сумма средств, выделяемых на предотвращение чрезвычайных ситуаций и принятие мер по обеспечению экологической безопасности, недостаточна для предотвращения ущерба от землетрясения. Вложение средств в поддержание надежности технической системы может быть эффективным для предотвращения ущерба от землетрясения (табл. 3).

Таблица 3. Сценарий оценки риска при сейсмоопасности

1. Определение стоимостных факторов и рисков проекта строительства	Стоимость материалов и работ по усилению конструкции объекта. Стоимость простоя объекта во время проведения работ.
Риски	Непредвиденные расходы, связанные с усилением конструкции объекта. Задержка сроков реализации проекта.
2. Разработка распределений вероятностей для технических и плановых факторов затрат (учет возможных отклонений от ожидаемой стоимости) 2.1. Стоимость материалов и работ по усилению конструкции объекта: нормальное распределение (вероятность того, что она составит 12 млн руб., составляет 0,158655) 2.2. Вероятность возникновения непредвиденных расходов: равномерное распределение (вероятность того, что непредвиденные расходы составят 15 %, 0,5) 2.3. Вероятность задержки сроков реализации проекта: равномерное распределение (вероятность того, что сроки реализации проекта будут задержаны на 3 месяца, составляет 0,1)	Оценить стоимость материалов и работ по усилению конструкции объекта можно посредством метода анализа аналогов. Необходимо найти аналогичные проекты, в которых проводились работы по усилению конструкций. На основе данных этих проектов можно определить среднюю стоимость материалов и работ, а также ее стандартное отклонение. Допустим: – средняя стоимость материалов и работ составляет 10 млн руб., – стандартное отклонение составляет 2 млн руб. Затем применяется нормальное распределение с этими параметрами. Прогноз наиболее вероятной стоимости материалов и работ – 10 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны до 2 млн руб. Оценить вероятность возникновения непредвиденных расходов можно методом экспертных оценок. Для этого необходимо провести опрос экспертов, которые имеют опыт реализации подобных проектов. Например, предположим, что на основании опроса экспертов была получена следующая информация: – вероятность возникновения непредвиденных расходов составляет 20 %. Затем применяем равномерное распределение вероятностей для оценки вероятности возникновения непредвиденных расходов (ожидается 20 %). Для оценки вероятности задержки сроков реализации проекта служит метод анализа исторических данных. Анализируются данные о задержках сроков реализации аналогичных проектов. Например, предположим, что на основании анализа исторических данных была получена следующая информация: – вероятность задержки сроков реализации проекта составляет 10 %. Затем применяем равномерное распределение вероятностей для оценки вероятности задержки сроков реализации проекта (ожидается 10 %).
3. Разработка вероятностных распределений неопределенности модели затрат	Сценарий 3. Вероятностное распределение неопределенности модели затрат представляет собой равномерное распределение на интервале от 0 до 100 млн руб. Вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет иметь значение от 0 до 100 млн руб., составляет 1,0. Такое распределение вероятностей неопределенности модели затрат является наиболее простым и консервативным вариантом. Оно предполагает, что все стоимостные факторы и риски проекта имеют одинаковую вероятность возникновения. Более реалистичным вариантом является использование логнормального распределения с учетом того факта, что некоторые стоимостные факторы и риски проекта имеют более высокую вероятность возникновения, чем другие. Указанное распределение может быть получено, если использовать следующие параметры: – среднее значение (μ) = 100 млн руб., – стандартное отклонение (σ) = 20 млн руб.

	Данное распределение вероятностей неопределенности модели затрат предполагает, что вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет иметь значение от 0 до 100 млн руб., составляет 0,6554.
4. Запуск модели риска	Модель риска позволит рассчитать вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна точечной оценке. Вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна 100 млн руб., составляет 0,5, если используется равномерное распределение вероятностей неопределенности модели затрат. Если используется логнормальное распределение, то вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна 100 млн руб., составляет 0,6554: $F(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma^2}\right)}$ где: $F(x)$ – функция распределения логнормального распределения, x – значение, для которого необходимо определить вероятность, μ – среднее значение распределения, σ – стандартное отклонение. при: $x = 100$ млн руб., $\mu = 100$ млн руб., $\sigma = 20$ млн руб., Тогда: $F(100) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\ln(100) - 100}{20^2}\right)}$ $F(100) = \frac{1}{1 + \exp(-0,032)}$ $F(100) = 0,6554$ Таким образом, запуск модели риска позволяет определить, насколько велика вероятность того, что проект будет завершен в рамках бюджета. Вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет иметь значение 100 млн руб., составляет 0,6554. При этом вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет иметь значение от 0 до 100 млн руб., будет равна площади под логнормальной кривой вероятностей неопределенности модели затрат в интервале от 0 до 100 млн руб.
5. Определение вероятности того, что фактическая стоимость будет меньше или равна точечной оценке	В данном случае, учитывая вероятность землетрясения 0,1, распределение вероятностей будет представлять собой равномерное распределение с интервалом от 0 до 100 млн руб. Точечная оценка стоимости проекта представляет собой наиболее вероятное значение стоимости проекта. Это означает, что существует 50 %-ая вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна точечной оценке, и 50 %-ая вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет больше точечной оценки.

Рекомендации: Необходимо увеличить точечный бюджет проекта на сумму, соответствующую вероятности превышения фактической стоимости над точечной оценкой. Пусть желаемый процентный уровень достоверности составляет 95 %. В этом случае вероятность

превышения фактической стоимости над точечной оценкой составляет 5 %. С учетом равномерного распределения вероятностей неопределенности модели затрат, вероятность превышения фактической стоимости над точечной оценкой 100 млн руб. составляет 0,05.

Таким образом, для достижения желаемого процентного уровня достоверности необходимо увеличить точечный бюджет проекта на 5 млн руб. Общий бюджет проекта составит 105 млн руб. В сценарии, в котором риск возникновения аварии является несущественным (0,1), решение о том, следует ли увеличивать точечный бюджет проекта, может быть принято исходя из других факторов, таких как стоимость дополнительных мероприятий по снижению риска.

Сценарий 4 – Объект связан с экологически опасным технологическим процессом и в любой момент может вызвать аварию. Вероятность аварии составляет 0,7. Сумма средств, выделяемых на предотвращение чрезвычайных ситуаций и принятие мер по обеспечению экологической безопасности, недостаточна для предотвращения аварии. Вложение средств в поддержание надежности технической системы может быть эффективным для предотвращения аварии (табл. 4).

Таблица 4. Сценарий оценки риска при аварии

1. Определение стоимостных факторов и рисков проекта строительства	Стоимость работ по обеспечению соответствия объекта требованиям безопасности. Стоимость работ по проведению регулярных проверок и испытаний объекта. Стоимость обучения персонала правилам безопасности.
Риски	Непредвиденные расходы, связанные с обеспечением безопасной эксплуатации объекта. Задержка сроков реализации проекта.
2. Разработка распределений вероятностей для технических и плановых факторов затрат (учет возможных отклонений от ожидаемой стоимости) 2.1. Стоимость материалов и работ по усилению конструкции объекта: нормальное распределение 2.2. Вероятность возникновения непредвиденных расходов: равномерное распределение 2.3. Вероятность задержки сроков реализации проекта: равномерное распределение	Оценить стоимость работ по обеспечению соответствия объекта требованиям безопасности можно методом анализа аналогов. Следует найти аналогичные объекты, которые прошли проверку на соответствие требованиям безопасности. На основе этих данных можно определить среднюю стоимость работ, а также ее стандартное отклонение. Например, предположим, что с помощью анализа аналогов установлено: – средняя стоимость работ по обеспечению соответствия требованиям безопасности зафиксирована на уровне 15 млн руб., – стандартное отклонение составляет 3 млн руб. Данные параметры подходят для нормального распределения. Прогноз наиболее вероятной стоимости работ по обеспечению соответствия требованиям безопасности – 15 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны до 3 млн руб. Оценить вероятность возникновения непредвиденных расходов можно методом экспертных оценок. Для этого необходимо провести опрос экспертов, которые имеют опыт реализации подобных проектов. Например, предположим, что на основании опроса экспертов была получена следующая информация: – вероятность возникновения непредвиденных расходов составляет 20 %. Затем применяем равномерное распределение вероятностей для оценки вероятности возникновения непредвиденных расходов (ожидается 20 %) и т.д. Вероятность задержки сроков реализации проекта – 10 %.
3. Разработка вероятностных распределений неопределенности модели затрат	В данном случае применяется нормальное распределение с параметрами: среднее значение – 162 608 695,65 млн руб., стандартное отклонение – 20 млн руб. Прогноз наиболее вероятной стоимости проекта – 163 млн руб., но возможны отклонения в обе стороны до 20 млн руб. Находим μ с помощью формулы

	$x = q \times \mu + (1 - q) \times \sigma$ где: x – значение, соответствующее 95 – му процентиллю, q – вероятность того, что значение будет меньше или равно x, μ – среднее значение распределения вероятностей, σ – стандартное отклонение распределения вероятностей. Тогда: $x = 0,95 \times \mu + (1 - 0,95) \times \sigma$ $172\,000\,000 = 0,95 \times \mu + (1 - 0,95) \times 20\,000\,000$ $172\,000\,000 = 0,95 \mu + 18\,000\,000$ $154\,000\,000 = 0,95 \mu$ $\mu = 162\,608\,695,65$
4. Запуск модели риска	Сценарий 4. На основе результатов моделирования Монте-Карло (1 тыс. прогонов) получим следующее вероятностное распределение для общей стоимости проекта: Вероятность Стоимость 0,01 124 000 000 0,02 127 000 000 0,03 130 000 000 ... 0,95 172 000 000 0,96 173 000 000 0,97 174 000 000 0,98 175 000 000 0,99 176 000 000 1,00 182 000 000 Согласно 95-му процентиллю распределения вероятностей, если проект будет реализован 100 раз, то в 95 случаях фактическая стоимость проекта будет превышать 172 млн руб., а в 5 случаях будет меньше или равна этой величине. Согласно 99-му процентиллю распределения вероятностей, если проект будет реализован 100 раз, то в 99 случаях фактическая стоимость проекта будет превышать 176 млн руб., а в 1 случае будет меньше или равна этой величине. Для определения точечной оценки общей стоимости проекта необходимо сложить среднюю стоимость работ по обеспечению соответствия требованиям безопасности с ожидаемой стоимостью непредвиденных расходов. Ожидаемая стоимость непредвиденных расходов составляет половину стандартного отклонения, умноженного на вероятность их возникновения. Наиболее вероятная стоимость (точечная оценка общей стоимости) проекта составляет: $163 + 30/2 \times 0,2 = 166$ млн руб. Из данных распределения видно, что существует малая вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет превышать 176 млн руб. Для достижения желаемого уровня достоверности 95 % необходимо увеличить бюджет проекта на 4 %. Таким образом, общий бюджет проекта должен составить $1,05 \times \text{точечная оценка} = 166 \times 1,05 = 172,64$ млн руб.
5. Определение вероятности того, что фактическая стоимость будет меньше или равна точечной оценке	Необходимо использовать распределение вероятностей неопределенности модели затрат. В данном случае, учитывая вероятность аварии 0,7, распределение вероятностей будет представлять собой логнормальное распределение с параметрами $\mu = 163$ млн руб. и $\sigma = 20$ млн руб. Точечная оценка стоимости проекта составляет 166 млн руб. Для определения вероятности того, что фактическая стоимость будет меньше или равна точечной оценке, необходимо использовать функ-

	цию распределения логнормального распределения: $F(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma^2}\right)}$ где: $F(x)$ – функция распределения логнормального распределения, x – значение, для которого необходимо определить вероятность, μ – среднее значение распределения, σ – стандартное отклонение. при: $x = 166$ млн руб., $\mu = 163$ млн руб., $\sigma = 20$ млн руб., Тогда: $F(166) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\ln(166) - 163}{20^2}\right)}$ $F(166) = \frac{1}{1 + \exp(-0,032)}$ $F(166) = 0,6554$ Таким образом, вероятность того, что фактическая стоимость проекта будет меньше или равна 166 млн руб., составляет 0,6554, или 65,54 %.
--	--

Рекомендации: Для достижения желаемого процентного уровня достоверности необходимо увеличить точечный бюджет проекта на сумму, соответствующую вероятности превышения фактической стоимости над точечной оценкой. Пусть желаемый процентный уровень достоверности составляет 95 %. В этом случае вероятность превышения фактической стоимости над точечной оценкой составляет 5 % (в противном случае, если не определить желаемый уровень достоверности, то нельзя рассчитать сумму, необходимую для увеличения точечного бюджета проекта). Заказчик хочет быть уверен на 95 % в том, что проект не выйдет за рамки бюджета. Это достаточно высокий уровень достоверности, который требует значительного увеличения точечного бюджета. Если бы заказчик был готов снизить желаемый уровень достоверности, например, до 80 %, то ему не пришлось бы увеличивать точечный бюджет. В этом случае вероятность превышения фактической стоимости над точечной оценкой составила бы 20 %, что соответствует стандартному отклонению логнормального распределения. С учетом логнормального распределения вероятностей неопределенности модели затрат, вероятность превышения фактической стоимости над точечной оценкой 166 млн руб. составляет 0,6554.

Таким образом, для достижения желаемого процентного уровня достоверности

необходимо увеличить точечный бюджет проекта на 65,5 млн руб. Общий бюджет проекта составит 231,5 млн руб. Сценарий, в котором риск возникновения аварии является существенным (0,7), решение о том, следует ли увеличивать точечный бюджет проекта, должно быть принято безотносительно к другим факторам.

Сценарный подход постулирует определенные сценарии, которые, если бы они произошли, привели бы к затратам, превышающим запланированный или заложенный в бюджет уровень. В целом, чем более неопределенна стоимость, тем больше затрат, связанных с риском, потребуется для покрытия разумной вероятности. Как видно из таблицы, сценарный подход к оценке рисков заключается в том, что рассматриваются различные сценарии развития событий, приводящих к возникновению риска. Для каждого сценария оценивается вероятность его наступления и размер ущерба, который может быть причинен в случае его реализации. Такой подход имеет ряд преимуществ к оценке рисков в области экологической безопасности строительства. Во-первых, он позволяет учитывать различные сценарии развития событий, что делает оценку рисков более полной и достоверной. Во-вторых, он помогает оценивать риски в количественном выражении, что упрощает их сопоставление и принятие решений по их управлению.

Итак, авторами представлен законченный алгоритм использования сценариев риска для обеспечения экологической безопасности строительства. Разработаны сценарии развития рискованных ситуаций и определены их параметры. Проанализированы характеристики каждого сценария риска и проведена их сравнительная оценка. С помощью метода Монте-Карло определены наиболее значимые риски, влияющие на развитие рассматриваемых сценариев. В статье представлены рекомендации по снижению рисков в каждом из сценариев.

1. Риски, связанные с проектом, необходимо оценивать с учетом вероятности их возникновения и последствий. В четырех представленных сценариях рассматривается вероятность возникновения различных рисков: наводнения, пожара, землетрясения и аварии. Вероятность возникновения наводнения составляет 0,3, пожара – 0,6, землетрясения – 0,1, аварии – 0,7. Заказчику необходимо принять решение о том, следует ли увеличивать точечный бюджет проекта в каждом из сценариев. Решение должно быть принято с учетом вероятности возникновения риска, последствий риска и желаемого уровня достоверности. Ему также следует рассмотреть возможность снижения вероятности возникновения рисков путем принятия дополнительных мер. Например, для снижения вероятности наводнения можно рассмотреть возможность строительства защитной дамбы в нескольких местах, для снижения вероятности пожара – возможность установки пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения, для снижения вероятности землетрясения – возможность использования более устойчивых материалов при строительстве объекта. Вопрос о том, кто должен нести ответственность за реализацию рекомендаций по снижению рисков, является важным, поскольку от этого зависит, будут ли рекомендации реализованы своевременно и в полном объеме. В контексте приведенных рекомендаций ответственность за реализацию может быть возложена на заказчика или исполнителя проекта. Тем самым они будут отвечать за финансирование реализации рекомендаций и контроль за их выполнением в рамках своего бюджета и сроков. Вопрос о том, как будет оцениваться эффективность принятых мер по снижению рисков, также является важным. От этого зависит, насколько эффективными будут реализуемые меры. Их эффективность может быть оценена по следующим критериям: снижение вероятности возникновения риска, нивелирование последствий риска, экономическая эффективность мер по снижению риска (следует сравнить затраты на реализацию мер по снижению риска с

выгодами от снижения вероятности или последствий риска). Для оценки эффективности принятых мер по снижению рисков аналитиками должна быть разработана система показателей, которые будут соответствовать конкретным условиям проекта.

2. Авторы проанализировали характеристики каждого сценария риска и провели их сравнительную оценку.

3. После изучения сравнительных оценок становится ясно, какие риски наиболее значимы. Для снижения риска наводнения следует построить защитную дамбу или переместить объект в более безопасное место. Предотвратить риск пожара поможет ремонт или замена оборудования для пожаротушения. Снизить риск землетрясения рекомендуется с помощью увеличения точечного бюджета проекта на 5 млн руб. Для снижения риска аварии точечный бюджет проекта должен быть увеличен на 65,5 млн руб. На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее рискованным сценарием является сценарий 4, при котором необходимо обеспечить безопасную эксплуатацию объекта. Данный сценарий оценивается как высоко-рискованный. Последствия аварии могут быть значительными, как с точки зрения затрат, так и с точки зрения репутации компании. В связи с этим решение о том, следует ли повышать точечный бюджет проекта, должно быть принято безотносительно к другим факторам. Для того чтобы быть уверенным на 95 % в том, что проект не выйдет за рамки бюджета, необходимо увеличить точечный бюджет проекта на сумму, соответствующую вероятности превышения фактической стоимости над точечной оценкой. В данном случае эта сумма составляет 65,5 млн руб. Однако увеличение точечного бюджета проекта может привести к увеличению срока реализации проекта.

4. Для получения результатов применен метод Монте-Карло как инструмент анализа рисков. При оценке рисков важно учитывать желаемый уровень достоверности. В сценариях рассматривается желаемый уровень достоверности в 95 %. Это достаточно высокий уровень, который требует значительного увеличения точечного бюджета проекта. Если бы заказчик был готов снизить желаемый уровень достоверности, например, до 80 %, то ему не пришлось бы увеличивать точечный бюджет.

Таким образом законченный алгоритм использования сценариев затратного риска позволит обеспечить природоохранные мероприятия, прописанные в российских стандартах, и нивелировать затраты на ликвидацию эколого-экономического ущерба.

Список литературы

1. Fathi-Vajargah B., Hassanzadeh Z. A new Monte Carlo method for solving system of linear algebraic equations. *Computational Methods for Differential Equations*, 2021, vol. 9, issue 1, pp. 159–179. DOI: 10.22034/cmde.2020.30640.1453
2. Chapra S. C. *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists*. New York: McGraw-Hill Education, 2018. 697 p.
3. Rashki M. The soft Monte Carlo method. *Applied Mathematical Modelling*, 2021, vol. 94, pp. 558–575. DOI: 10.1016/j.apm.2021.01.022
4. Vertical tank capacity measurement based on Monte Carlo method / G. Y. Chen, Y. Wan, H. H. Lin [et al.]. *Plos One*, 2021, vol. 16, issue 4, p. e0250207. DOI: 10.1371/journal.pone.0250207
5. Huo X. K. A compact Monte Carlo method for the calculation of $k(\infty)$ and its application in analysis of (n, xn) reactions. *Nuclear Engineering and Design*, 2021, vol. 376, p. 111092. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2021.111092
6. Monte Carlo methods for matrix computations on the grid / S. Branford, C. Sahin, A. Thandavan [et al.]. *Future Generation Computer Systems*, 2008, vol. 24, issue 6, pp. 605–612. DOI: 10.1016/j.future.2007.07.006
7. A coupled framework of variational asymptotic method based homogenization technique and Monte Carlo approach for the uncertainty and sensitivity analysis of unidirectional composites / P. Pitchai, N. K. Jha, R. G. Nair [et al.]. *Composite Structures*, 2021, vol. 263, pp. 113656. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.113656
8. Toropova A. P., Toropov A. A. Can the Monte Carlo method predict the toxicity of binary mixtures? *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, issue 11, pp. 39493–39500. DOI: 10.1007/s11356-021-13460-1
9. Lee E. K. Determination of burnup limit for CANDU 6 fuel using Monte-Carlo method. *Nuclear Engineering and Technology*, 2021, vol. 53, issue 3, pp. 901–910. DOI: 10.1016/j.net.2020.07.033
10. Oh K. Y., Nam W. A. A fast Monte-Carlo method to predict failure probability of offshore wind turbine caused by stochastic variations in soil. *Ocean Engineering*, 2021, vol. 223, p. 108635. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108635
11. A probabilistic risk modelling chain for analysis of regional flood events / J. Oliver, X. S. Qin, H. Madsen [et al.]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2019, vol. 33, pp. 1057–1074. DOI: 10.1007/s00477-019-01681-3
12. Желанкин В. Г. Определение вероятностного уровня риска аварии дамбы золошлакоотвала по условию устойчивости откосов и подход к назначению критериев безопасности // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. Т. 114. № 12. С. 50–56. DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.006
13. Никулина Н. Л. Проблемы оценки экологической безопасности региона // *Экономика региона*. 2008. № 54. С. 62–67.
14. Волошин В. С., Данилова Т. Г., Елистратова Н. Ю. Методика оценки и моделирование экологической безопасности экосистем промышленно развитого города // *Вестник Приазовского государственного технического университета*. Серия: Технические науки. 2010. № 20. С. 279–282.
15. Вигдорович В. И. Техногенный риск. Проблемы и решения // *Вестник российских университетов*. Математика. 2004. Т. 4. № 9. С. 405–419.
16. Лубсанова Н. Б. О подходах к оценке экологичности проектов жилищного строительства // *Вестник Бурятского государственного университета*. Экономика и менеджмент. 2018. № 3. С. 30–35. DOI: 10.18101/2304-4446-2018-3-30-35
17. Larionov A., Nezhnikova E., Smirnova E. Risk Assessment Models to Improve Environmental Safety in the Field of the Economy and Organization of Construction: A Case Study of Russia. *Sustainability*, 2021, vol. 13, issue 24, p. 13539. DOI: 10.3390/su132413539
18. Smirnova E. Monte Carlo simulation of environmental risks of technogenic impact. *Contemporary Problems of Architecture and Construction*. In: Rybnov E., Akimov P., Khalvashi M., Vardanyan E. (Eds.). London: CRC Press, 2021, pp. 355–360. DOI: 10.1201/9781003176428
19. Smirnova E. The use of the Monte Carlo method for predicting environmental risk in construction zones. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1614(1), p. 012083. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012083
20. Kalos M. H., Whitlock P. A. *Monte Carlo Methods*. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. 203 p.
21. Теличенко В. И., Слесарев М. Ю. Проблема и решение системы оценки экологической безопасности строительства в мегаполисе // *Экология урбанизированных территорий*. 2013. № 1. С. 13–17.
22. Slesarev M. Modeling and formation of environmental safety management systems of construction technologies. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 258(1), p. 09084. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809084
23. Смирнова Е. Э. Оценка рисков в российских и международных стандартах без-

опасности и устойчивого развития // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 57–71.

24. Gabaix X. Power Laws in Economics and Finance. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2008. 60 p.

References

1. Fathi-Vajargah B., Hassanzadeh Z. A new Monte Carlo method for solving system of linear algebraic equations. *Computational Methods for Differential Equations*, 2021, vol. 9, issue 1, pp. 159–179. DOI: 10.22034/cmde.2020.30640.1453
2. Chapra S. C. *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists*. New York: McGraw-Hill Education, 2018. 697 p.
3. Rashki M. The soft Monte Carlo method. *Applied Mathematical Modelling*, 2021, vol. 94, pp. 558–575. DOI: 10.1016/j.apm.2021.01.022
4. Vertical tank capacity measurement based on Monte Carlo method / G. Y. Chen, Y. Wan, H. H. Lin [et al.]. *Plos One*, 2021, vol. 16, issue 4, p. e0250207. DOI: 10.1371/journal.pone.0250207
5. Huo X. K. A compact Monte Carlo method for the calculation of k (infinity) and its application in analysis of (n, xn) reactions. *Nuclear Engineering and Design*, 2021, vol. 376, p. 111092. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2021.111092
6. Monte Carlo methods for matrix computations on the grid / S. Branford, C. Sahin, A. Thandavan [et al.]. *Future Generation Computer Systems*, 2008, vol. 24, issue 6, pp. 605–612. DOI: 10.1016/j.future.2007.07.006
7. A coupled framework of variational asymptotic method based homogenization technique and Monte Carlo approach for the uncertainty and sensitivity analysis of unidirectional composites / P. Pitchai, N. K. Jha, R. G. Nair [et al.]. *Composite Structures*, 2021, vol. 263, pp. 113656. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.113656
8. Toropova A. P., Toropov A. A. Can the Monte Carlo method predict the toxicity of binary mixtures? *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, issue 11, pp. 39493–39500. DOI: 10.1007/s11356-021-13460-1
9. Lee E. K. Determination of burnup limit for CANDU 6 fuel using Monte-Carlo method. *Nuclear Engineering and Technology*, 2021, vol. 53, issue 3, pp. 901–910. DOI: 10.1016/j.net.2020.07.033
10. Oh K. Y., Nam W. A. A fast Monte-Carlo method to predict failure probability of off-shore wind turbine caused by stochastic variations in soil. *Ocean Engineering*, 2021, vol. 223, p. 108635. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108635
11. A probabilistic risk modelling chain for analysis of regional flood events / J. Oliver, X. S. Qin, H. Madsen [et al.]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2019, vol. 33, pp. 1057–1074. DOI: 10.1007/s00477-019-01681-3
12. Zhelankin V. G. Opreleniye veroyatnostnogo urovnya riska avarii damby zoloshlakootvala po usloviyu ustoychivosti otkosov i podkhod k naznacheniyu kriteriyev bezopasnosti [Identifying the probabilistic level of the risk of an ash and slag dump dam accident according to the condition of slope stability and an approach to assigning safety criteria]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, vol. 114, issue 12, pp. 50–56. DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.006
13. Nikulina N. L. Problemy otsenki ekologicheskoy bezopasnosti regiona [Problems of the estimation of ecological safety of region]. *Ekonomika regiona*, 2008, issue S4, pp. 62–67.
14. Voloshin V. S., Danilova T. G., Yelistratova N. Yu. Metodika otsenki i modelirovaniye ekologicheskoy bezopasnosti ekosistem promyshlenno razvitogo goroda [Assessment methodology and modelling of ecological safety of ecosystems of an industrially developed city]. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskkiye nauki*, 2010, issue 20, pp. 279–282.
15. Vigdorovich V. I. Tekhnogennyy risk. Problemy i resheniya [Ecological risk. Problems and solutions]. *Vestnik Rossiyskikh universitetov. Matematika*, 2004, vol. 4, issue 9, pp. 405–419.
16. Lubsanova N. B. O podkhodakh k otsenke ekologichnosti proyektov zhilishchnogo stroitel'stva [About approaches to estimating the environmental friendliness of house building]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika i menedzhment*, 2018, vol. 3, pp. 30–35. DOI: 10.18101/2304-4446-2018-3-30-35
17. Larionov A., Nezhnikova E., Smirnova E. Risk Assessment Models to Improve Environmental Safety in the Field of the Economy and Organization of Construction: A Case Study of Russia. *Sustainability*, 2021, vol. 13, issue 24, p. 13539. DOI: 10.3390/su132413539
18. Smirnova E. Monte Carlo simulation of environmental risks of technogenic impact. *Contemporary Problems of Architecture and Construction*. In: Rybnov E., Akimov P., Khalvashi M., Vardanyan E. (Eds.). London: CRC Press, 2021, pp. 355–360. DOI: 10.1201/9781003176428
19. Smirnova E. The use of the Monte Carlo method for predicting environmental risk in construction zones. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1614(1), p. 012083. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012083

20. Kalos M. H., Whitlock P. A. Monte Carlo Methods. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. 203 p.

21. Telichenko V. I., Slesarev M. Yu. Problema i resheniye sistemy otsenki ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva v megapolise [The problem and solution of the system for assessing the environmental safety of construction in a metropolis]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*, 2013, issue 1, pp. 13–17.

22. Slesarev M. Modeling and formation of environmental safety management systems of construction technologies. E3S Web of Confer-

ences, 2021, vol. 258(1), p. 09084. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809084

23. Smirnova E. E. Otsenka riskov v rossiyskikh i mezhdunarodnykh standartakh bezopasnosti iustoychivogo razvitiya [Risk assessment in Russian and international safety and sustainable development standards]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 1 (46), pp. 57–71.

24. Gabaix X. Power Laws in Economics and Finance. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2008. 60 p.

Смирнова Елена Эдуардовна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

кандидат технических наук, доцент

E-mail: esmirnovae@yandex.ru

Smirnova Elena Eduardovna

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering»

Russian Federation, Saint Petersburg

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

E-mail: esmirnovae@yandex.ru

Слесарев Михаил Юрьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет»,

Российская Федерация, г. Москва

доктор технических наук, профессор

E-mail: slesarev@mgsu.ru

Slesarev Mikhail Yurievich

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «National Research Moscow State
Construction University»

Russian Federation, Moscow

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: slesarev@mgsu.ru

Мозаффары Мохаммад Али

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет»

Российская Федерация, г. Москва

аспирант

E-mail: m.mozaffari2021@gmail.com

Mozaffari Mohammad Ali

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «National Research Moscow State
Construction University»

Russian Federation, Moscow

postgraduate student

E-mail: m.mozaffari2021@gmail.com

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальностям журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

- формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликации) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Формулы нумеруют в круглых скобках по правому краю страницы;

- в тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на таблицы, рисунки, графики;

• графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обяза-

тельно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымопроницаемой мембраны в сложенном состоянии;
- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;
- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;
- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;
- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: *Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;*
- единственная в статье таблица не нумеруется: *Таблица. Анализ оборудования для подачи воздушно-механической пены;*
- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;
- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;
- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

- список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;
- список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 2 (51), 2024

16+

Дата выхода в свет 26.06.2024 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 28,4. Тираж 100 экз.
Заказ № 400. 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