

ISSN 2658-6223

Управление
в организационных системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

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

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

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
(технические и химические
науки)

Пожарная безопасность
(технические науки)

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

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

№ 4 (57), 2025



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Научный журнал

Издаётся с 2011 года

Выходит 4 раза в год

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

Территория распространения — Российская Федерация, зарубежные страны.

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Булгаков Владислав Васильевич, кандидат технических наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

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

Научный редактор: Ульянов Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

Гринченко Борис Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной-строевой, физической подготовки и ГДЗС (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

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

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

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

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

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

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

Лазарев Александр Александрович — канд. пед. наук, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры правового обеспечения надзорной деятельности (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

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

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

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

Присадов Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор, академик Национальной академии наук пожарной безопасности, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, г. Балашиха)

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)

Семенов Алексей Олегович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

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

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

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

Теличенко Валерий Иванович — д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РААСН, президент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (Россия, г. Москва)

Федосеев Вадим Николаевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации производства и городского хозяйства ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Хафизов Ильдар Фанильевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Россия, г. Уфа)

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

Шевцов Сергей Александрович — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (Россия, г. Воронеж)

Технический редактор: Чуприна Ольга Сергеевна

Дата выхода в свет 25.12.2025 г. Формат 60х90 1/8. Усл. печ. л. 19.6. Тираж 100 экз. Заказ № 1114.

Реестровая запись от 15.11.2022 серия ПИ № ФС77-84179

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

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

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

© Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, 2025

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE SAFETY (TECHNICAL)

Бубнов В. Б., Репин Д. С. Подходы к оптимизации насосных групп в противопожарном водоснабжении.....	5
Bubnov V. B., Repin D. S. Approaches to optimizing pumping groups in fire-fighting water supply.....	5
Гессе Ж. Ф., Шабунин С. А., Фролова Т. В. Оценка эффективности использования фосфорсодержащих средств огнезащиты для древесины сосны в условиях огневого воздействия ...	12
Gesse Zh. F., Shabunin S. A., Frolova T. V. Evaluation of the efficiency of using phosphorus-containing fire protection means for pine wood under fire exposure conditions	12
Захаров А. Е. Термогравиметрический анализ наномодифицированного материала для внешнего огнезащитного слоя оболочек полимерных эластичных резервуаров	19
Zakharov A. E. Thermogravimetric analysis of a nanomodified material for the external fire-protective layer of polymer flexible reservoir shells	19
Краснов А. А., Семенова К. В., Пашкова Т. В. Простейшее уравнение динамики частицы грунта на поверхности кулисной лопатки рабочего органа пожарного грунтометателя.....	29
Krasnov A. A., Semenova K. V., Pashkova T. V. The simplest equation of the dynamics of a soil particle on the surface of the rocker blade of the working body of a fire-fighting ground-thrower	29
Куртов С. О., Малый В. П., Гребнев Я. В. Оценка влияния местных сопротивлений пожарных соединительных головок на гидравлические потери напора в рукавных линиях.....	37
Kurtov S. O., Maly V. P., Grebnev Ya. V. Assessment of the impact of local resistance of fire connection heads on hydraulic pressure loss in sleeve lines	37
Мзокова Е. А. О необходимости создания систематизированной базы данных об учете опасностей объекта пожара	44
Mzokova E. A. On the need to create a systematic data base on the accounting of fire hazards	44
Попов В. И., Песикин А. Н., Салихова А. Х., Сорокин Д. В. Проблема обеспечения безопасности животных при пожаре в животноводческих помещениях.....	50
Popov V. I., Pesikin A. N., Salikhova A. Kh., Sorokin D. V. The problem of ensuring animal safety during fires in livestock premises.....	50
Семенов А. О., Калашников Д. В., Бубнов А. Г., Тихановская Л. Б. Использование систем мониторинга при фиксации направления развития и динамики природного пожара	57
Semenov A. O., Kalashnikov D. V., Bubnov A. G., Tikhonovskaya L. B. The use of monitoring systems for recording the direction of development and dynamics of a wildfire.....	57
Чудакова А. Ф., Сырбу С. А. Проблемные вопросы использования нормативных документов по определению скорости сероводородной коррозии.....	68
Chudakova A. F., Syrbu S. A. Problem issues in the use of regulatory documents for determining the rate of hydrogen sulfide corrosion.....	68
Шалявин Д. Н., Шипилов Р. М., Прокопенко А. Н., Чистов П. В. Исследование влияния факторов видимости и теплового воздействия на скорость спасения пожарными людьми с высоты	75
Shaliavin D. N., Shipilov R. M., Prokopenko A. N., Chistov P. V. Investigation of the influence of visibility and thermal effects on the speed of firefighters rescuing people from heights	75
Шварев Е. А. Совершенствование методов прогнозирования обстановки с пожарами.....	86
Shvarev E. A. Improving methods for forecasting fire-related situations	86

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

Румянцева В. Е., Овчинников А. А., Обручев Д. В., Гергишан С. В. Структурно-морфологические факторы формирования свойств огнезащитных покрытий строительных конструкций	92
Rumyantseva V. E., Ovchinnikov A. A., Obruchev D. V., Gergishan S. V. Structural and morphological factors of formation of properties of fireprotective coatings of building structures	92

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

Данилов П. В., Апарин А. А., Закинчак А. И. Анализ вопроса о практическом применении информационно-управленческих систем	105
Danilov P. V., Aparin A. A., Zakinchak A. I. Analysis of the practical application of information and management systems.....	105

Пушина Л. Ю., Низов Р. В. Оценка эффективности деятельности органов государственной власти в сфере управления безопасностью жизнедеятельности населения региона: проблемы и возможные решения	119
Pushina L. Yu., Nizov R. V. Assessment of the effectiveness of public authorities in the field of managing the safety of the region's population: problems and possible solutions	119

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

Исхакова Р. Я., Лаптев А. Г. Совершенствование метода очистки газовых выбросов при термической утилизации осадков и отходов промышленных предприятий	138
Iskhakova R. Ya., Laptev A. G. Improvement of the gases emissions purification methods in thermal disposal of sludge and waste from industrial enterprises	138

Масленников С. В., Ильичева А. И., Рыбин Д. С. Анализ процессов сгорания природных растительных материалов методами термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии	148
Maslennikov S. V., Ilicheva A. I., Rybin D. S. Analysis of combustion processes of natural plant parts by thermogravimetry and differential scanning calorimetry methods	148

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

УДК 614.842

DOI 10.48612/ntp/e9ke-at7n-p2t6

**ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ НАСОСНЫХ ГРУПП
В ПРОТИВОПОЖАРНОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ**

В. Б. БУБНОВ, Д. С. РЕПИН

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

В работе представлены результаты исследований разных способов регулирования подачи воды в насосных станциях систем противопожарного водоснабжения. Разработана модель насосной группы различной комплектации для расчета энергетических показателей. Проанализирована эффективность методов регулирования для различных практических случаев. Предложена методика оценки эффективности применения частотного регулирования подачи для насосной группы. Проведена оценка экономии электроэнергии от применения метода частотного регулирования подачи по сравнению с другими способами регулирования.

Разработаны подходы к определению оптимального режима работы насосной группы в зависимости от требуемых параметров (подача, напор), в том числе с учетом технологических ограничений (максимально и минимально допустимые числа оборотов приводных двигателей). Предложен ряд практических мероприятий по сокращению потребления электрической энергии на привод различных насосных групп.

Ключевые слова: противопожарное водоснабжение, насос, энергетическая эффективность, пожаротушение, байпасирование, дросселирование, частотное регулирование, модель, оптимизация.

**APPROACHES TO OPTIMIZING PUMPING GROUPS
IN FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY**

V. B. BUBNOV, D. S. REPIN

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

The paper presents the results of studies of different methods of water supply regulation in pumping stations of fire-fighting water supply systems. A model of a pumping group of various configurations for calculating energy indicators has been developed. The efficiency of regulation methods for various practical cases has been analyzed. A methodology for assessing the efficiency of using frequency regulation of the supply for a pumping group has been proposed. An assessment of energy savings from using the frequency regulation method of the supply in comparison with other regulation methods has been carried out.

Approaches have been developed to determining the optimal operating mode of a pumping group depending on the required parameters (supply, pressure), including taking into account technological limitations (maximum and minimum permissible speeds of drive motors). A number of practical measures have been proposed to reduce the consumption of electrical energy for driving various pumping groups.

Key words: fire water supply, pump, energy efficiency, fire extinguishing, bypass, throttling, frequency regulation, model, optimization.

Введение

Центробежные насосы находят широкое применение в системах водоснабжения, в том числе при подаче воды на пожаротушение [1]. Подача больших объемов воды в системах противопожарного водоснабжения объектов защиты требует значительных затрат электроэнергии. Экономия энергозатрат может быть обеспечена использованием интеллектуальной системы управления, а также обновлением применяемого оборудования.

Обеспечение графика водопотребления $Q(t)$ и необходимых параметров, в том числе для пожаротушения, достигается путем регулирования подачи насосов на объектах защиты. Существует несколько методов изменения параметров насосов (регулирования их работы), среди которых байпасирование и дроссельное регулирование [2]. Эти методы широко применяются на практике, однако имеют низкую энергоэффективность.

Эффективным способом регулирования подачи центробежных насосов с энергетической точки зрения является частотное регулирование, благодаря чему в последние годы он получает значительное распространение. Исследования в области частотного способа регулирования подачи насосов представлены в ряде научных публикаций [3–7]. Анализ работ показывает, что в настоящее время не имеется модели для осуществления оптимальной настройки методом изменения частоты вращения вала и решения экономической задачи для насосных станций в системах водяного пожаротушения. А поскольку данный метод регулирования работы насосов является дорогим, то его применение должно опираться на результаты научно-обоснованных исследований, определение оптимальных частот для электродвигателя насоса, с оценкой возможного экономического эффекта.

Целью работы является разработка подходов к оптимизации насосных групп в противопожарном водоснабжении.

Методология и методы исследования

Для решения задач, поставленных на данном этапе работы, использовались методы математического моделирования, численные исследования. Проведены исследования энергетической эффективности различных методов регулирования подачи насосных групп, выбран и обоснован критерий оптимальности режима их эксплуатации, разработана модель для решения оптимизационной задачи настройки насосной станции.

Основу для проведения исследований составили разработанные нами математические модели и программно-аппаратные комплексы, представленные в работе [8].

Результаты и их обсуждение

Увеличение частоты вращения вала центробежного насоса приводит к возрастанию основных параметров, а именно подачи Q , напора H и мощности N , что наглядно представлено на рис. 1. При данном способе регулирования коэффициент полезного действия может несколько уменьшаться или увеличиваться, либо при величине статического напора в водопроводной сети, равной нулю, оставаться постоянным.

Исследовалась работа насосной группы (из двух насосов), ее энергетические показатели. Гидравлические характеристики водопроводной сети (без байпасирования, при байпасировании и при дросселировании), напорно-расходные характеристики насосной станции при частотном регулировании и без регулирования, полученные в результате численных исследований, представлены на рис. 2.

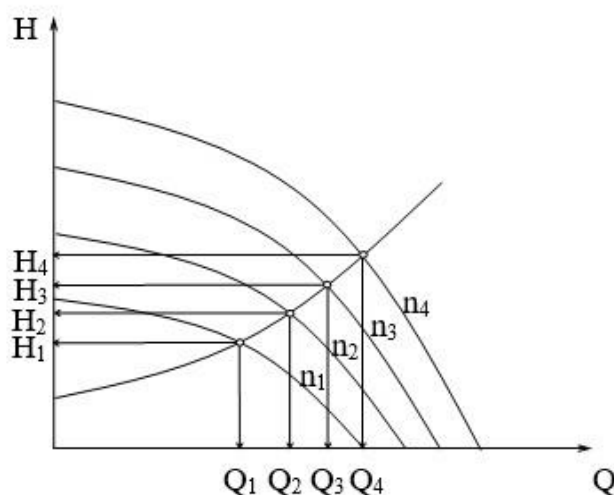


Рис. 1. Изменение параметров работы центробежного насоса при регулировании частоты вращения

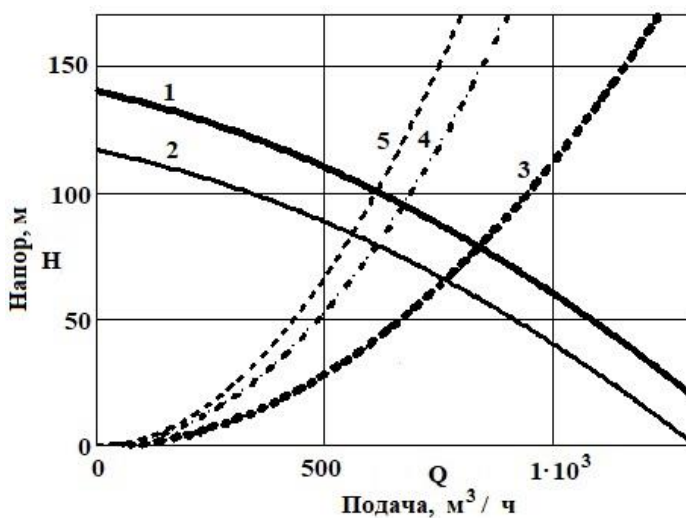


Рис. 2. Работа насосной группы (два насоса, работающих параллельно) на водопроводную сеть:

- 1 – характеристика насосной станции (регулировка частоты вращения отсутствует);
- 2 – характеристика насосной станции (при регулировке частоты вращения);
- 3 – гидравлическая характеристика водопроводной сети при байпасировании;
- 4 – гидравлическая характеристика водопроводной сети без байпасирования;
- 5 – гидравлическая характеристика водопроводной сети при дросселировании

Если частота вращения вала изменяется от n_0 до n , глубина регулирования определяется как отношение $n_p = n/n_0$. Численные исследования, представленные на рис. 2, выполнены при глубине регулирования, равной 0,9.

Мощность $N_p(Q)$ [8], удельный расход электрической энергии насосной группы $W(Q)$ и коэффициент полезного действия $KПД(Q)$ при NP параллельно работающих насосах определяли по уравнениям (1)–(3).

$$N_p(Q) = b_1 \cdot Q^2 \cdot n_p + b_2 \cdot Q n_p^2 + b_3 \cdot n_p^3; \quad (1)$$

$$W(Q) = NP \cdot N_p(Q) / Q; \quad (2)$$

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

Коэффициенты полиномов в уравнениях (1) и (3) определяются по фактическим характеристикам (паспортным или полученным в результате испытаний).

В таблице приведены энергетические показатели исследуемой насосной группы из двух параллельно включенных насосов при различных режимах ее работы.

Таблица. Энергетические показатели исследуемой насосной группы из двух параллельно включенных насосов

Способ регулирования подачи	Мощность (кВт)	Расход электроэнергии (удельный) (кВт·ч/м³)	Коэффициент полезного действия
С регулированием частоты вращения (без байпасирования)	188,5	0,307	0,77
Без регулирования частоты вращения (с байпасированием)	286,1	0,466	0,707
Без регулирования частоты вращения (с дросселированием на нагнетательной линии)	233,7	0,381	0,769

Анализ представленных в таблице результатов показывает, что применение метода частотного регулирования дает экономию мощности на привод насосов более 34 % по сравнению с байпасированием и более 19 % по сравнению с дросселированием.

Экономию энергии от применения метода частотного регулирования (в течение периода времени Δt) рассчитывали по формулам:

- по сравнению с рециркуляцией

$$DN_b(Q) = [NS_b(Q) - NS_n(Q)] \cdot \Delta t, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (4)$$

$$dNb(Q) = [NS_b(Q) - NS_n(Q)] / [0,001 \cdot NS_b(Q)], \% \quad (5)$$

- по сравнению с дросселированием

$$DN_d(Q) = [NS_d(Q) - NS_n(Q)] \cdot \Delta t, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (6)$$

$$dNd(Q) = [NS_d(Q) - NS_n(Q)] / [0,001 \cdot NS_d(Q)], \% \quad (7)$$

В уравнениях (4) – (7):

$NS_b(Q)$ – мощность, потребляемая насосной станцией при байпасировании, кВт;

$NS_d(Q)$ – мощность, потребляемая насосной станцией при дросселировании, кВт;

$NSn(Q)$ – мощность, потребляемая насосной станцией при изменении частоты вращения вала, кВт.

Проанализируем эффективность методов регулирования по насосным группам. Результаты расчета зависимостей энергетических показателей насосной станции от ее подачи при исследуемых способах регулирования представлены на рис. 3–5 ($NSb(Q)$ – регулирование байпасированием; $NSd(Q)$ – регулирование дросселированием; $NSn(Q)$ – частотное регулирование).

Анализ результатов, представленных на рис. 3, показывает, что с максимально возможной подачей насосная станция работает на сеть в случае, если задвижка на линии нагнетания полностью открыта, а на байпасной линии полностью закрыта. В этом случае уменьшать частоту вращения вала не требуется.

Как показано на верхней кривой рис. 3, мощность, потребляемая насосной станцией, не зависит от величины подачи потребителю, она постоянна. Данный случай имеет место, если насосы при байпасировании работают с постоянной подачей. При этом излишек воды через байпас направляется на всасывающую линию насосов. Таким образом, потребляемая мощность имеет одинаковую величину при регулировании байпасированием, регулировании дросселированием и частотном регулировании, т. е. при всех рассматриваемых способах регулирования.

Проведена оценка экономии электрической энергии от применения частотного регулирования по сравнению с иными способами регулирования. Результаты исследований представлены на рис. 4.

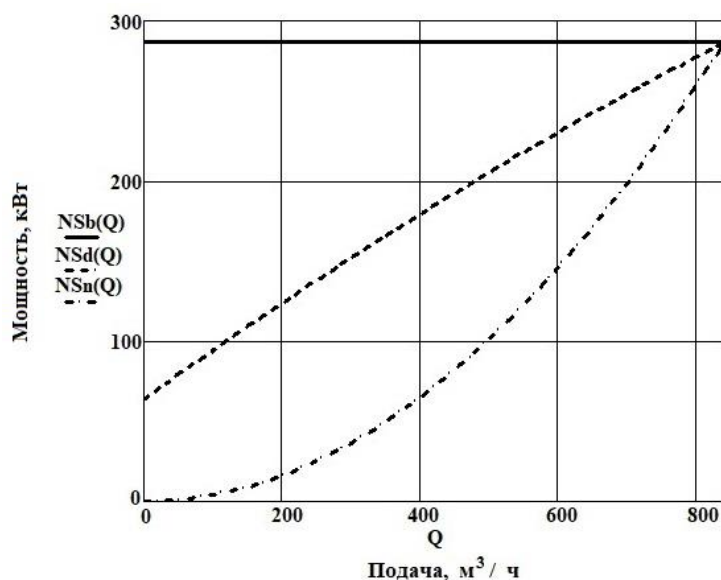


Рис.3. Зависимость потребляемой мощности насосной станции от подачи воды в водопроводную сеть при разных режимах

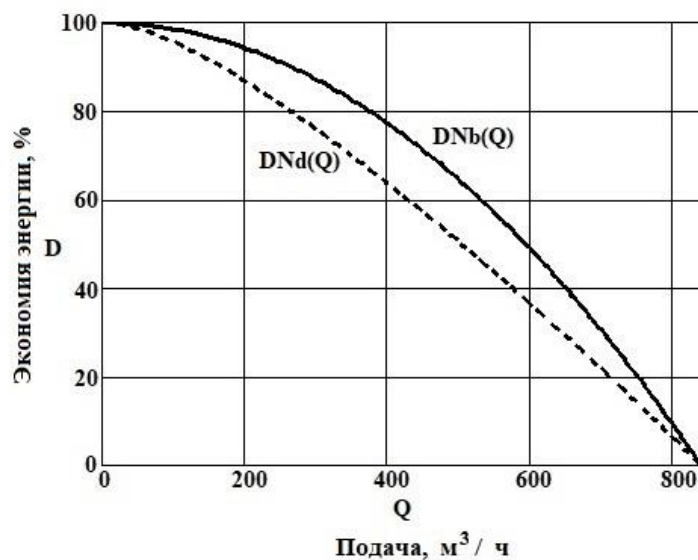


Рис. 4. Экономия электроэнергии при регулировании частотой вращения: режим работы с дросселированием $DNd(Q)$, с байпасированием $DNb(Q)$

Как показали исследования, чем регулирование глубже, т.е. чем меньше подача и неравномернее график водопотребления, тем больше эффект от применения метода частотного регулирования.

Результаты исследований зависимости удельного расхода электроэнергии от подачи насосной станции при частотном регулировании $W_n(Q)$, регулировании дросселированием $W_d(Q)$ и регулировании байпасированием $W_b(Q)$ представлены на рис. 5.

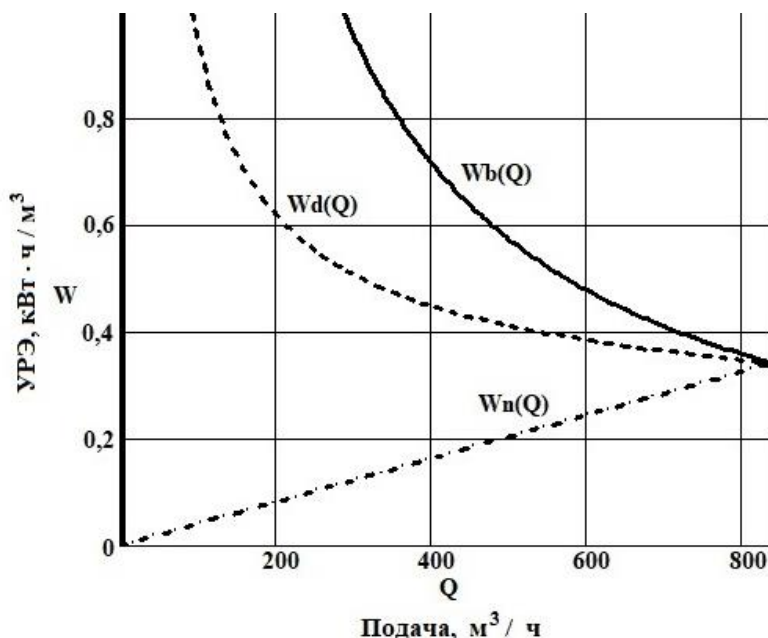


Рис. 5. Удельный расход потребляемой электрической энергии насосной станцией при различной подаче воды в сеть и разных способах регулирования

Для объекта защиты в качестве технологического критерия оптимальности рассмотрим удельный расход электроэнергии на привод насосов (УРЭ).

Мощность насоса

$$N = Q \cdot (\rho \cdot g \cdot H) / \eta, \quad (8)$$

где Q — подача насоса, м³/с;

H — напор насоса, м;

η — коэффициент полезного действия насоса;

ρ — плотность воды, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Удельный расход электроэнергии

$$\begin{aligned} \text{УРЭ} &= H \cdot (\rho \cdot g / \eta), \text{ Дж/м}^3 = \\ &= H \cdot (\rho \cdot g / \eta) / (3600 \cdot 1000), \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3. \end{aligned} \quad (9)$$

Если разницей величин КПД при дросселировании и применении частотного регулирования пренебречь, то снижение удельного расхода электроэнергии от применения частотного регулирования по сравнению с дросселированием составляет 30–70 %. Поскольку во многих случаях дросселирование приводит к уменьшению КПД, экономия может быть еще больше.

К дополнительному эффекту по экономии электроэнергии может привести повышение качества процесса регулирования, обусловленного использованием качественной, адекватной и информативной модели насосной группы.

В работе [9] отмечено, что одной из проблем при аналитическом описании и исследовании работы многонасосных групп является изменение в процессе эксплуатации фактических характеристик насосов, обусловленных их износом и некачественным обслуживанием. Следует отметить, что при этом различные рабочие характеристики (зависимости напора, мощности и КПД от подачи) могут быть у работающих совместно насосов даже одной марки. В связи с этим постоянное уточнение зависимостей, которые описывают эти характеристики, в соответствии с фактическим состоянием насосных агрегатов, может быть реализована в процессе мониторинга параметров работы многонасосных групп. Это позволит в процессе оптимизации работы насосных групп максимально использовать агрегаты с наиболее «высокими» характеристиками, а также повысить точность расчетов необходимой частоты вращения.

Предлагаемая модель насосных групп может быть использована для оптимизации по экономическому критерию. При частотном регулировании подачи насосов «регулирующий» объем напорно-регулирующих емкостей практически равен нулю и эти «высвобождаемые» объемы можно использовать в процессе оптимизации суточного графика работы насосной

группы. Другой пример оптимизации многонасосной группы - принятие решений о полной (частичной) замене оборудования на основе накопленного статистического материала о графиках водопотребления или в случае предполагаемого расширения многонасосной группы при появлении дополнительных водопотребителей.

Список литературы

1. Жучков В. В. Противопожарное водоснабжение. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 298 с.

2. Аверьянов А. О. Общие схемы и способы регулирования работы насосов при повышении напора // Молодой ученый. 2023. № 3 (450). С. 68–71.

3. Мрочек В. И., Мрочек Т. В., Бураков А. С. Исследование центробежных насосов и способов регулирования их подачи // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012. № 2. С. 50–56.

4. Кожухова А. В., Рамазанов К. Н. Применение ЧРП для повышения энергоэффективности насосной установки // Символ науки. 2016. № 11–3. С. 95–97.

5. Multiobjective Optimization of Low-Specific-Speed Multistage Pumps by Using Matrix Analysis and CFD Method / Qiaorui Si, Shouqi Yuan, Jianping Yuan [et al.]. J. Appl. Math. Volume 2013. 10 p.

6. Annusa I., Uibob D., Koppela T. Pumps energy consumption based on new EU legislation. Procedia Engineering, 2014, vol. 89, pp. 517–524.

7. Лысенко О. А., Кузнецов Е. М. Энергоэффективные режимы работы установок центробежных насосов // Вестник Югорского государственного университета. 2012. № 2 (25). С. 79–86.

8. Бубнов В. Б., Репин Д. С. Математическое описание рабочих характеристик насосов в противопожарном водоснабжении при различных способах регулирования // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 2 (55). С. 24–32.

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

2. Averyanov A. O. Obshchiye skhemy i sposoby regulirovaniya raboty nasosov pri povyshenii napora [General schemes and methods for regulating the operation of pumps with increasing pressure]. *Molodoy uchenyy*, 2023, vol. 3 (450), pp. 68–71.

3. Mrochek V. I., Mrochek T. V., Burakov A. S. Issledovaniye tsentrobezhnykh nasosov i sposobov regulirovaniya ikh podachi [Research of centrifugal pumps and methods of regulating their feed]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*, 2012, issue 2, pp. 50–56.

4. Kozhukhova A. V., Ramazanov K. N. Primeneniye CHRP dlya povysheniya energoeffektivnosti nasosnoy ustanovki [Application of VFD to improve the energy efficiency of a pumping unit]. *Simvol nauki*, 2016, issue 11–3, pp. 95–97.

5. Multiobjective Optimization of Low-Specific-Speed Multistage Pumps by Using Matrix Analysis and CFD Method / Qiaorui Si, Shouqi Yuan, Jianping Yuan [et al.]. *J. Appl. Math.* Volume 2013. 10 p.

6. Annusa I., Uibob D., Koppela T. Pumps energy consumption based on new EU legislation. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 89, pp. 517–524.

7. Lysenko O. A., Kuznetsov Ye. M. Energoeffektivnyye rezhimy raboty ustanovok tsentrobezhnykh nasosov [Energy-efficient operating modes of centrifugal pump units]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, vol. 2 (25), pp. 79–86.

8. Bubnov V. B., Repin D. S. Matematicheskoye opisaniye rabochikh kharakteristik nasosov v protivopozharnom vodosnabzhenii pri razlichnykh sposobakh regulirovaniya [Mathematical description of the operating characteristics of pumps in fire-fighting water supply with various control methods]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2025, vol. 2 (55), pp. 24–32.

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

References

1. Zhuchkov V.V. *Protivopozharnoye vodosnabzheniye* [Fire water supply]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2016. 298 p.

Бубнов Владимир Борисович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: kafppv@mail.ru

Bubnov Vladimir Borisovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: kafppv@mail.ru

Репин Денис Сергеевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель

E-mail: denisrep@mail.ru

Repin Denis Sergeevich

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

Russian Federation, Ivanovo

teacher

E-mail: denisrep@mail.ru

УДК 66.0 + 614.841.41

DOI 10.48612/ntp/5nfz-rka1-knp8

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ж. Ф. ГЕССЕ, С. А. ШАБУНИН, Т. В. ФРОЛОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

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

В работе предпринята попытка установить корреляцию между приростом массы образца древесины сосны в результате пропитки огнезащитным составом и потерей массы образца в условиях огневого воздействия. Для сравнительной оценки эффективности огнезащиты выбран такой критерий, как потеря массы образца в ходе огневых испытаний. В качестве объекта исследования взята древесина сосны, пропитанная 10 % масс. водными составами аммофоса, диаммонийфосфата и диаммофоски. Для исследования были использованы следующие методы пробоподготовки древесины сосны: выдерживание образца в огнезащитном составе в течение 1 часа, 24 часов и двукратная обработка поверхности кистью.

Обнаружено, что различные способы обработки древесины огнезащитными составами оказывают существенное влияние на стойкость древесины к огневому воздействию. Установлено, что обработка древесины сосны 10 % масс. водными растворами аммофоса и диаммофоски эффективна при пропитывании образца 1 час. Для древесины, обработанной 10 % масс. водным раствором диаммонийфосфата эффективность огнезащиты достигается при выдерживании образца в растворе 24 часа. Двукратная обработка поверхности древесины сосны кистью менее эффективна во всех случаях.

Прямая зависимость потери массы в результате огневых испытаний от прироста массы во время пропитки образца огнезащитным составом наблюдается только для состава на основе диаммонийфосфата.

На основании проведенных испытаний наибольшей огнезащитной эффективностью обладает химически чистый диаммонийфосфат, что обусловлено большим содержанием аммонийных групп, по сравнению с другими составами.

Ключевые слова: возгорание; древесина; огнезащитный состав; аммофос; диаммонийфосфат; диаммофоска; стойкость к огневому воздействию; пожарная опасность.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING PHOSPHORUS-CONTAINING FIRE PROTECTION MEANS FOR PINE WOOD UNDER FIRE EXPOSURE CONDITIONS

Zh. F. GESSE, S. A. SHABUNIN, T. V. FROLOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

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

Russian Federation, Ivanovo

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

This study attempts to establish a correlation between the weight gain of a pine wood sample as a result of impregnation with a fire retardant and the weight loss of the sample under fire exposure. For a comparative assessment of fire protection effectiveness, the criterion chosen was sample weight loss during fire tests. Pine wood impregnated with 10 % by weight aqueous solutions of ammonium phosphate, diammonium phosphate, and diamphoska was used as the object of study. The following pine wood sample preparation methods were used for the study: keeping the sample in the fire retardant for 1 hour, 24 hours, and twice treating the surface with a brush.

It was found that different methods of wood treatment with fire retardants have a significant impact on the wood's resistance to fire exposure. It was found that treatment of pine wood with 10 % by weight aqueous solutions of ammonium phosphate and diamphoska is effective when the sample is impregnated for 1 hour.

For wood treated with 10 % by weight, the effect was with an aqueous solution of diammonium phosphate, fire protection effectiveness is achieved by soaking the specimen in the solution for 24 hours. Double brushing of the pine wood surface is less effective in all cases.

A direct correlation between weight loss during fire tests and weight gain during specimen impregnation with the fire retardant composition is observed only for the diammonium phosphate-based composition.

Based on the tests conducted, chemically pure diammonium phosphate exhibits the highest fire protection effectiveness, due to its higher content of ammonium groups compared to other compositions.

Key words: fire; wood; fire retardant composition; ammophos; diammonium phosphate; diamphoska; fire resistance; fire hazard.

Введение

К настоящему времени разработано достаточно большое количество рецептов и оригинальных составов [1–6] для защиты древесины от возгорания, однако данное научно-исследовательское направление продолжает активно развиваться, поскольку не все существующие решения отвечают современным требованиям экологической безопасности, долговечности и эффективности, а не снижающийся спрос на древесину и древесные материалы требует обновления. Актуальным также остается поиск новых, более совершенных составов, способных обеспечить надежную защиту древесины, с минимальным количеством компонентов состава.

Целью данной работы является – оценка эффективности использования 10 % масс. водных растворов аммофоса, диаммонийфосфата и диаммофоски для огнезащиты древесины сосны, а также определение зависимости между приростом массы образца древесины сосны в результате пропитки огнезащитным составом и потерей массы образца в условиях огневого воздействия.

Материалы

и методика исследования

Для проведения исследования использовали образцы древесины сосны размерами 75 мм × 50 мм × 20 мм без видимых изъянов (трещины, сучки, места гниения и другие дефекты).

В качестве огнезащитных составов были использованы 10 % масс. водные растворы следующих фосфорсодержащих средств:

– № 1 - аммофос (основной компонент $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ с добавлением $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$);

– № 2 - диаммонийфосфат $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, марки х.ч.);

– № 3 - диаммофоска (основной компонент $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ с добавлением солей калия).

Пропиточные водные растворы готовили весовым способом из сухой смеси в соответствии с документами^{1,2} при комнатной или

повышенной температуре (50–60 °С) для аммофоса и диаммофоса до полного растворения при тщательном перемешивании. Приготовленные растворы отстаивали не менее 4 часов, после чего пропускали их через бумажный складчатый фильтр для отделения нерастворимых примесей.

Для исследования были использованы три различных метода пробоподготовки для трех образцов, каждый в трех повторностях:

1) огнезащитное средство на поверхность древесины сосны наносили путем погружения образца в подготовленный состав на 1 час [образцы: (1.1), (2.1), (3.1)];

2) огнезащитное средство на поверхность сосны наносили путем погружения образцов в подготовленный состав. Продолжительность выдержки древесины в растворе составляла 24 часа [образцы: (1.2), (2.2), (3.2)];

3) нанесение огнезащитного средства на поверхность древесины осуществляли два раза кистью без просушки образцов между обработками с интервалом не более 10 мин [образцы: (1.3), (2.3), (3.3)].

Одним из условий выполнения эксперимента была фиксация времени просушки образцов после обработки огнезащитными составами. Сушка образцов проводилась при комнатной температуре и атмосферном давлении до постоянной массы.

Расчетные данные по приросту массы исследуемых образцов представлены в табл. 1–3. Прирост массы является прямым следствием проникновения пропиточного состава в древесные волокна и может служить индикатором для оценки качества пропитки и потенциальной огнезащиты древесины. Несмотря на то, что все три способа пропитки, применяемых нами в исследовании, относятся к одному методу – капиллярная пропитка [7], из полученных результатов видно, что наименьший прирост массы наблюдается у образцов, на которые огнезащитный состав наносился кистью (табл. 3). Образцы древесины, обработанные методом погружения в раствор в течение

¹ ГОСТ 18918-85 Аммофос. Технические условия

² ГОСТ 8515-75 Диаммонийфосфат. Технические условия

24 часов, отличаются наибольшим приростом массы (табл. 2). В [8] показано, что после вымачивания древесины сосны в воде наблюдается существенное разрушение волокон, уменьшение их длины и раскрытие внутренней поверхности. Вероятно, именно этот факт и

способствует большему поглощению огнезащитного состава.

Оценку стойкости образцов к огневому воздействию проводили аналогично [9]. На рис. 1 представлены образцы древесины сосны, обработанные огнезащитными составами № 1-3, после огневого воздействия.

Таблица 1. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 10% масс. водным раствором путем погружения их в огнезащитный состав на 1 час

Образец	№ эксперимента	Масса образца до пропитки, г	Масса образца после пропитки, г	Δm , %
1.1	1	39,6791	40,2126	1,46
	2	42,5070	43,2033	
	3	42,1239	42,7129	
2.1	1	41,6912	42,2364	1,21
	2	43,1745	43,6460	
	3	41,8262	42,3389	
3.1	1	42,4989	43,0569	1,45
	2	41,5174	42,0786	
	3	41,5646	42,2726	

Таблица 2. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 10% масс. водным раствором путем погружения их в огнезащитный состав на 24 часа

Образец	№ эксперимента	Масса образца до пропитки, г	Масса образца после пропитки, г	Δm , %
1.2	1	39,7022	40,6381	2,25
	2	40,8697	41,9466	
	3	41,7048	42,4448	
2.2	1	41,3102	42,2318	2,54
	2	38,4660	39,5402	
	3	41,4586	42,5385	
3.2	1	41,7643	42,5949	2,20
	2	41,1990	42,1287	
	3	41,6413	42,6203	

Таблица 3. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после нанесения пропитки 10% масс. водным раствором кистью

Образец	№ эксперимента	Масса образца до пропитки, г	Масса образца после пропитки, г	Δm , %
1.3	1	37,4535	38,0541	1,16
	2	38,1031	38,4511	
	3	39,2979	39,6795	
2.3	1	40,1393	40,5933	1,00
	2	39,3657	39,6757	
	3	41,0743	41,5162	
3.3	1	40,3877	40,5965	0,65
	2	40,4081	40,7193	
	3	40,1944	40,4085	

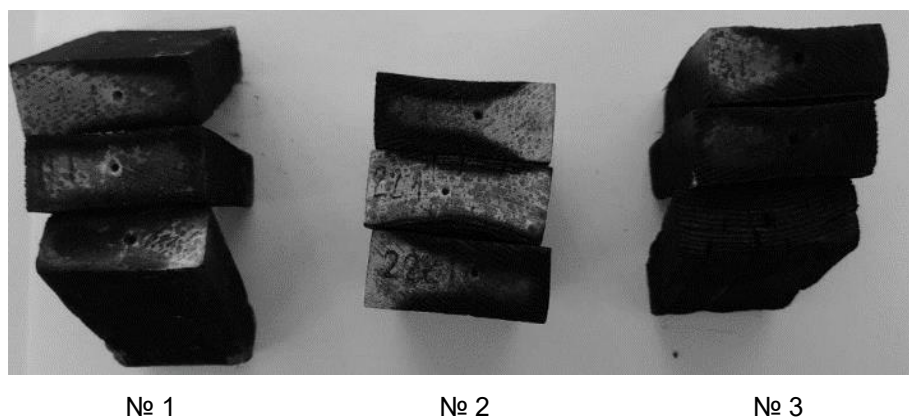


Рис. 1. Образцы древесины сосны, обработанной огнезащитными составами (сверху вниз: № 1 – 1.1; 1.2; 1.3; № 2 – 2.1; 2.2; 2.3; № 3 – 3.1; 3.2; 3.3)

Известно³, что моноаммонийфосфат является более устойчивым к действию температуры, чем диаммонийфосфат, и при нагревании до 100–110 °С не теряет аммиак. Диаммонийфосфат, нагретый до 70 °С разлагается до аммиака и моноаммонийфосфата. Можно было бы предположить, что количественные значения характеристик образцов 2 и 3 должны иметь сходные значения. Однако, из данных таблицы 4 следует, что в результате огневого воздействия наибольшая потеря массы соответствует образцам древесины сосны 3.1, 3.2, 3.3 (при всех условиях подготовки образцов), что может указывать на их наиболее глубокое термическое разложение. При втором и третьем способе пропитки древесины сосны образец № 3 характеризуется наименьшим приростом массы и наибольшей убылью массы при огневом воздействии на него. Вероятно, присутствие солей калия в составе диаммофоски играет немаловажную роль в огнезащите

древесины. Ионы калия, обладая достаточно большим коэффициентом теплопроводности, способствуют большему прогреванию верхнего слоя древесины, выступая при этом, вероятно, как катализатор, и ускоряют процесс горения, что и приводит к увеличению потери массы в процессе огневого воздействия.

Если говорить о потере массы у образца, прошедшего обработку огнезащитным составом № 2 (диаммонийфосфат), то по результатам эксперимента видно, что такая древесина демонстрирует наименьшие показатели потери массы (табл. 4, строки 2, 5, 8), а образцы имеют меньшее термическое повреждение (рис. 1). Помимо этого, для данного состава можно говорить о прямой зависимости убыли массы при огневом воздействии от прироста массы при пропитке образца огнезащитным составом (рис. 2), что не характерно для составов № 1 и № 3.

Таблица 4. Средние значения потери массы огнезащищенных образцов древесины сосны в результате огневого воздействия

№ п/п	Образец	Условия пробоподготовки	Δm , г	Δm^* , %
1	1.1	выдерживание в огнезащитном растворе в течение 1 часа	12,40	30,23
2	2.1		11,29	27,06
3	3.1		13,56	32,66
4	1.2	выдерживание в огнезащитном растворе в течение 24 часов	14,02	34,60
5	2.2		8,35	20,73
6	3.2		14,50	35,06
7	1.3	нанесение огнезащитного состава двукратно кистью с интервалом 10 мин.	14,29	36,70
8	2.3		12,13	29,66
9	3.3		17,53	42,83

³ Аммофос. Справочник химика 21: – URL: <https://Chem21.info/page/18717800/> (дата обращения 12.10.2025).

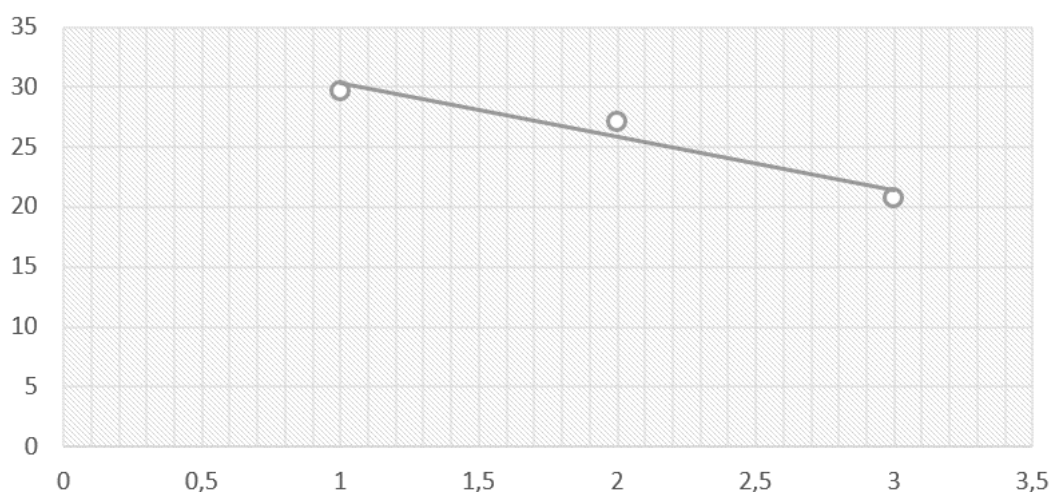


Рис. 2. Зависимость убыли массы древесины сосны (Δm^*) при огневом воздействии от прироста массы (Δm) при пропитке образца составом № 2

Выводы

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что обработка древесины огнезащитными составами, приготовленными на основе 10 % масс. водных растворов аммофоса, диаммонийфосфата и диаммофоски, оказывает существенное влияние на стойкость древесины к огневому воздействию.

Установлено, что обработка древесины сосны 10 % масс. водными растворами аммофоса и диаммофоски эффективна при пропитывании образца 1 час. Для древесины, обработанной 10 % масс. водным раствором диаммонийфосфата эффективность огнезащиты достигается при выдерживании образца в растворе 24 часа. Двукратная обработка

поверхности древесины сосны кистью менее эффективна во всех случаях. Однако, увеличение длительности пропитки составом не всегда приводит к повышению стойкости к действию огня.

Прямая зависимость потери массы в результате огневых испытаний от прироста массы во время пропитки образца огнезащитным составом наблюдается только для состава на основе диаммонийфосфата.

На основании проведенных испытаний наибольшей огнезащитной эффективностью обладает химически чистый диаммонийфосфат, что обусловлено большим содержанием аммонийных групп, по сравнению с другими составами.

Список литературы

1. Афанасьев С. В., Коротков Р. В. Азот-фосфорсодержащие антипирены пропитывающего действия для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 6. С. 38–42.
2. Афанасьев С. В., Коротков Р. В. Антипирены на основе фосфорсодержащих соединений и аминокальдегидных смол // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1 (6). С. 1682–1684.
3. Панев Н. М. Анализ применения огнезащитных композиций для древесины и разработка методов контроля их наличия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Иваново, 2020. 21 с.
4. Федотов И. О., Сивенков А. Б. Влияние средств огнезащиты на интенсивность прогрева и особенности обугливания деревянных

конструкций // Технологии техносферной безопасности. 2021. Вып. 4 (94). С. 50–64.

5. Защита древесины от возгорания с использованием специальных составов / А. М. Газизов, А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 159–164.

6. Оценка эффективности смесей антипиренов для огнезащиты древесины / В. Ю. Колесова, Н. О. Мельников, А. А. Монахов [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. №1 (46). С. 52–66.

7. Пятакин В. И., Соколова В. А. Эффективность способов пропитки древесины // Вестник КрасГАУ. 2011. № 5. С. 159–163.

8. Влияние предварительной водной обработки сосновых опилок на структурные изменения древесины и свойства углеродного продукта на ее основе / С. И. Цыганова,

О. Ю. Фетисова, Г. Н. Бондаренко [и др.] // Химия растительного сырья. 2015. № 4. С 85–91.

9. Гессе Ж. Ф., Шабунин С. А., Фролова Т. В. Исследование влияния способа пропитки древесины огнезащитным составом на стойкость к огневому воздействию // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 27–34.

References

1. Afanas'ev S. V., Korotkov R. V. Azot-fosforsoderzhashhie antipireny' propity'vayushhego dejstviya dlya drevesiny' [Nitrogen-phosphorus-containing fire retardants with impregnating action for wood]. *Pozharovzry'vobezopasnost'*, 2012, vol. 21, issue 6, pp. 38–42.

2. Afanas'ev S. V., Korotkov R. V. Antipireny' na osnove fosforsoderzhashhix soedinenij i aminoal'degidny'x smol [Fire retardants based on phosphorus-containing compounds and amino aldehyde resins]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2014, issue 16, vol. 1 (6), pp. 1682–1684.

3. Panev N. M. Analiz primeneniya ognезashhitny'x kompozicij dlya drevesiny' i razrabotka metodov kontrolya ix nalichiya. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. [Analysis of the application of fire-retardant compositions for wood and development of methods for monitoring their presence. Abstract diss. cand. tech. sciences]. Ivanovo, 2020, 21 p.

4. Fedotov I. O., Sivenkov A. B. Vliyanie sredstv ognезashhity' na intensivnost' progreva i osobennosti obuglivaniya derevyanny'x konstrukcij [The influence of fire protection agents on the

intensity of heating and the characteristics of charring of wooden structures]. *Texnologii texnosfernoj bezopasnosti*, 2021, vol. 4 (94), pp. 50–64.

5. Zashhita drevesiny' ot vozgoraniya s ispol'zovaniem special'ny'x sostavov [Protection of wood from fire with the use special composition] / A. M. Gazizov, A. G. Goroxovskij, E. E. Shishkina [et. al.]. *Lesa Rossii i xozyajstvo v nix*, 2024, vol. 1 (88), pp. 159–164.

6. Ocenka e'ffektivnosti smesej antipirenov dlya ognезashhity' drevesiny' [Evaluation of the effectiveness of flame retardant mixtures for wood fire protection] / V. Yu. Kolesova, N. O. Mel'nikov, A. A. Monahov [et. al.]. *Texnosfer-naya bezopasnost'*, 2025, vol. 1 (46), pp. 52–66.

7. Patyakin V. I., Sokolova V. A. E'ffektivnost' sposobov propitki drevesiny' [Efficiency of the ways for wood impregnation]. *Vestnik KrasGAU*, 2011, issue 5, pp. 159–163.

8. Vliyanie predvaritel'noj vodnoj obrabotki sosnovy'x opilok na strukturny'e izmeneniya drevesiny' i svojstva uglerodnogo produkta na ee osnove [The effect of preliminary water treatment of pine sawdust on structural changes in wood and the properties of carbon products based on it] / S. I. Cyganova, O. Yu. Fetisova, G. N. Bondarenko [et. al.]. *Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya*, 2015, issue 4, pp. 85–91.

9. Gesse Zh. F., Shabunin S. A., Frolova T. V. Issledovanie vliyaniya sposoba propitki drevesiny' ognезashhitny'm sostavom na stojkost' k ognevomu vozdejstviyu [Study of influence of the method of wood treatment by fire-protective composition on fire resistance]. *Sovremennyye problemy' grazhdanskoj zashhity'*, 2025, vol. 1 (54), pp. 27–34.

Гессе Женни Фердинандовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Gesse Zhenni Ferdinandovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Шабунин Сергей Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Shabunin Sergey Aleksadrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana Vladislavovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: frolovatanja@mail.ru

УДК: 614.84:678

DOI 10.48612/ntp/r364-d8n9-7r28

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВНЕШНЕГО ОГНЕЗАЩИТНОГО СЛОЯ ОБОЛОЧЕК ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

А. Е. ЗАХАРОВ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: frzakhsach@mail.ru

В статье рассматривается термогравиметрическое поведение наномодифицированного полимерного материала, предназначенного для внешнего огнезащитного слоя оболочек полимерных эластичных резервуаров (ПЭР). Материал представляет собой полимерный композиционный слой на основе промышленной клеевой системы TIP TOP SOLUTION MTR с 10 мас.% наноуглеродного наполнителя типа «астрален» и рассматривается как потенциальный элемент, компенсирующий недостаточную термостабильность базового термопластичного полиуретана оболочки ПЭР. Исследование термического поведения выполнено методами термогравиметрического анализа (ТГ), дифференциального термогравиметрического анализа (ДТГ) и дифференциального термического анализа (ДТА) в окислительной атмосфере в соответствии с ГОСТ Р 53293–2009 и методическими рекомендациями по термоанализу полимеров. Проанализированы температура начала интенсивной потери массы ($T_{нач}$), характерные температуры разложения (T_{10} , T_{50}), экстремумы скорости деструкции и величина остатка при высоких температурах. Показано, что введение 10 мас.% астралена приводит к смещению характерных температур разложения в область более высоких значений, снижению пиковых скоростей потери массы и небольшому увеличению углеродистого остатка. Полученные результаты свидетельствуют о повышении термостабильности модифицированного материала и позволяют рассматривать его как перспективный элемент конструктивной огнезащиты оболочек ПЭР, способствующий снижению риска каскадного развития пожара при аварийном проливе нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: полимерные эластичные резервуары; термопластичный полиуретан; TIP TOP SOLUTION MTR; наноуглеродный наполнитель; астрален; термогравиметрический анализ; термостабильность; огнестойкость; пожарная безопасность.

THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF A NANOMODIFIED MATERIAL FOR THE EXTERNAL FIRE-PROTECTIVE LAYER OF POLYMER FLEXIBLE RESERVOIR SHELLS

A. E. ZAKHAROV

Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Saint Petersburg
E-mail: frzakhsach@mail.ru

The article examines the thermogravimetric behavior of a nanomodified polymer material intended for the external fire-protective layer of polymer flexible reservoir shells (PFRs). The material is a polymer composite layer based on the industrial adhesive system TIP TOP SOLUTION MTR with 10 wt.% of a nanocarbon filler of the "astralene" type and is considered as a potential element to compensate for the insufficient thermal stability of the base thermoplastic polyurethane shell of PFRs. The thermal behavior was studied using thermogravimetric analysis (TGA), differential thermogravimetric analysis (DTG) and differential thermal analysis (DTA) in an oxidizing atmosphere in accordance with GOST R 53293–2009 and methodological guidelines on the thermal analysis of polymer materials. The temperature of the onset of intensive mass loss (T_{onset}), characteristic decomposition temperatures (T_{10} , T_{50}), extrema of the degradation rate and the amount of residue at elevated temperatures were analyzed. It is shown that the introduction of 10 wt.% astralene shifts the characteristic decomposition temperatures to higher values, reduces the peak mass-loss rates and leads to a slight increase in the carbonaceous residue. The results indicate an increase in the thermal stability of the modified material and allow it to be considered as a promising element of structural fire protection for PFR

shells, contributing to a reduction in the risk of cascading fire development in the event of an accidental spill of oil and petroleum products.

Keywords: polymeric elastic reservoirs; thermoplastic polyurethane; TIP TOP SOLUTION MTR; nanocarbon filler; astralen; thermogravimetric analysis; thermal stability; fire resistance; fire safety.

Введение

Полимерные эластичные резервуары (ПЭР), применяемые для хранения нефти и нефтепродуктов, представляют собой конструкции, в которых несущая и герметизирующая функция обеспечивается оболочкой из термопластичного полиуретана (ТПУ) и вспомогательными полимерными слоями. При пожаре пролива именно оболочка ПЭР первой воспринимает тепловое воздействие пламени, и её термостабильность во многом определяет вероятность разгерметизации резервуара и вовлечения в горение соседних ёмкостей. По данным обобщающих исследований горения полимерных материалов и термодеструкции полиуретанов, термопластичные полиуретаны относятся к группе легко горючих материалов, характеризуются сравнительно невысокой термической стойкостью, высокой скоростью образования летучих продуктов пиролиза и ограниченной способностью к формированию при нагреве сплошного коксового слоя на поверхности, который мог бы выполнять функции теплового барьера [1, 3–6, 8]. Это означает, что незащищённая оболочка из ТПУ является уязвимым элементом системы хранения моторных топлив в условиях пожара пролива.

В проводимых исследованиях, посвящённых снижению пожарной опасности при использовании ПЭР для хранения нефти и нефтепродуктов, было показано, что модификация полимерных композитов углеродной наноструктурой типа «астрален» в диапазоне концентраций до 10 мас.% приводит к увеличению остаточной массы при термогравиметрическом анализе и может способствовать уменьшению пожарной опасности таких резервуаров [10–12, 14]. Эти данные подтверждают целесообразность применения наноуглеродных наполнителей для повышения термостойкости материалов, используемых в конструкциях ПЭР.

Одним из перспективных подходов к повышению термостабильности и снижению горючести полимерных материалов является введение наноуглеродных структур [4, 5, 7–9]. Показано, что дисперсные наноуглеродные наполнители способны изменять кинетику термоокислительной деструкции, смещать характерные температуры разложения в область более высоких значений и приводить к увеличению выхода и плотности коксового остатка, формирующегося при термическом воздействии и работающего как тепло- и массообменный барьер [3–

5, 7–10]. При этом выраженность этих эффектов существенно зависит от конкретной полимерной матрицы, способа введения наполнителя и режима нагрева, что делает необходимой экспериментальную проверку влияния наноуглеродных добавок на материалы оболочек ПЭР.

В настоящей работе исследуется полимерный композиционный материал на основе промышленной клеевой системы TIP TOP SOLUTION MTR, модифицированный углеродным наноструктурным наполнителем типа «астрален» в количестве 10 мас.% (далее – модифицированный полимерный материал). Материал предназначен для нанесения на внешнюю поверхность оболочек ПЭР и может рассматриваться как потенциальный материал внешнего огнезащитного слоя, призванный компенсировать недостаточную огнестойкость базовой оболочки из ТПУ за счёт повышения её термостойкости в условиях пожара пролива [9–11, 13, 14]. Оценка термического поведения выполнена методом комплексного термического анализа (ТГ/ДТГ/ДТА) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53293–2009 «Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа» и методическими рекомендациями по термическому анализу полимерных материалов [2]. Цель исследования — количественно охарактеризовать параметры терморазложения исследуемого наномодифицированного материала ($T_{нач}$, T_{10} , T_{50} , величина остатка при высоких температурах) и оценить, в какой мере модификация астраленом может использоваться как инструмент повышения огнестойкости оболочки ПЭР и снижения риска каскадного развития пожара по сравнению с конструкцией, в которой оболочка ПЭР выполнена только из ТПУ и не имеет внешнего модифицированного слоя.

Материалы и методика

Объект исследования

В полимерный композиционный материал на основе клеевой системы TIP TOP SOLUTION MTR был введён наноуглеродный наполнитель типа «астрален» в количестве 10 мас.% от массы клеевой основы [9–11]. Материал рассматривается как потенциальный элемент многослойной конструкции ПЭР (усиливающий защитный слой) [12, 14].

Условия эксперимента

Термоанализ выполнен на комбинированном приборе типа NETZSCH STA 449 в режиме одновременной регистрации ТГ, ДТГ и ДТА при следующих условиях:

- атмосфера: воздух (окислительные условия, имитирующие реальную эксплуатацию и пожар);
- температурный диапазон: от комнатной температуры до 1100 °С;
- скорость нагрева: 10 К/мин;
- начальная навеска образца: $m_0 \approx 107$ мг;
- тигли: Al_2O_3 .

Обработка результатов

Обработка результатов выполнялась в соответствии с ГОСТ Р 53293–2009 и методическими рекомендациями по термическому анализу полимеров [2].

В частности:

- температура начала интенсивной потери массы $T_{нач.}$ определялась по касательной к ТГ-кривой (переход от «пологого» участка к участку скоростной убыли массы);
- максимумы скорости потери массы $T_{пик.}$ фиксировались по экстремумам ДТГ-кривой;
- площади и параметры пиков ДТА (начало, максимум, конец, ширина, высота) оценивались по данным программного обеспечения прибора;

– для количественной оценки были выделены три стадии разложения с расчётом ступенчатых потерь массы Δm и остатка при 1099–1100 °С;

– дополнительно определялись характерные температуры при 10, 50 и 90 % потери массы (T_{10} , T_{50} , T_{90}), а также строился ступенчатый баланс массы по стадиям разложения.

Результаты термогравиметрического анализа показали следующее:

1. Кривые ТГ/ДТГ/ДТА модифицированного материала

ТГ-кривая модифицированного полимерного композиционного материала показывает стабильность массы вплоть до 340 °С. По критерию касательных и изменению формы ТГ/ДТГ температура начала интенсивного разложения оценивается как: $T_{нач} \approx 342$ °С.

Дальнейшее разложение протекает по трёхстадийной схеме с отчётливыми особенностями на ДТГ и ДТА.

На рис. 1 показаны ТГ (масса–температура), ДТГ (скорость потери массы) и ДТА (тепловой эффект). Видны три стадии разложения и два основных экзотермических комплекса.

Анализ ТГ/ДТГ показывает, что разложение удобно описывать в виде трёх стадий с привязкой к массовым уровням 100, 60, 40 и 2,24 % от начальной массы.

Таблица 1. Температуры при заданной остаточной массе модифицированного полимерного композиционного материала (10 мас.% астралена)

Остаточная масса, %	Потеря массы, %	Температура, °С
95	5	336,0
90	10	350,6
80	20	366,4
70	30	381,0
60	40	405,7
50	50	485,6
40	60	619,5
30	70	734,5
20	80	848,8

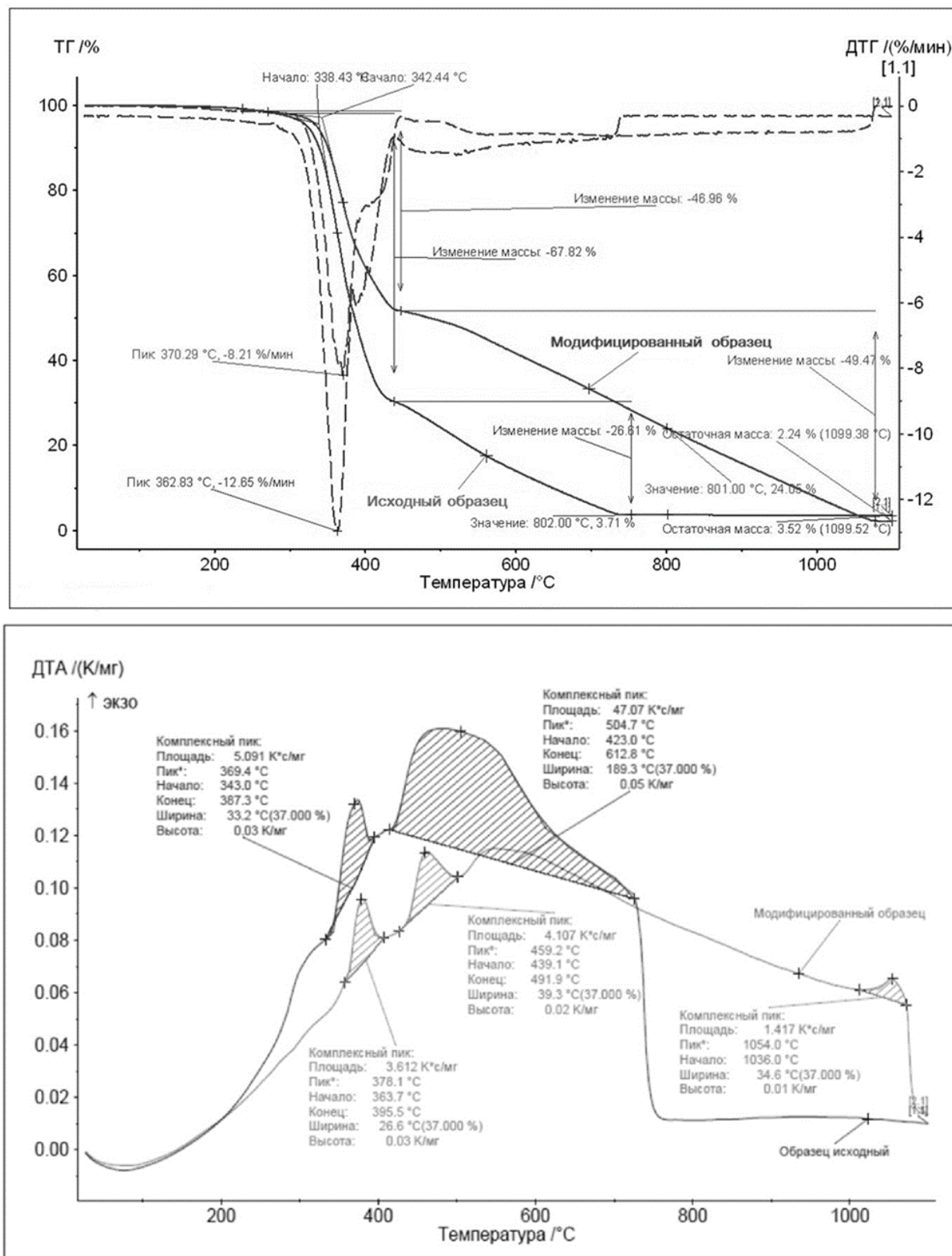


Рис. 1. ТГ/ДТГ/ДТА-кривые полимерного композиционного материала (TIP TOP SOLUTION MTR с 10 мас.% астралена)

Таблица 2. Стадии термического разложения модифицированного полимерного композиционного материала (10 мас.% астралена)

Стадия	Температурный диапазон, °С	Масса в начале, %	Масса в конце, %	Потеря массы Δm (% , мг)	Краткая характеристика стадии (реакция разрушения)
1	342–405,7	100	60	40,00 % ($\approx 42,8$ мг)	Начальная термоокислительная деструкция органической полимерной матрицы и летучих компонентов.
2	405,7–619,5	60	40	20,00 % ($\approx 21,4$ мг)	Дальнейшее разрушение поперечно-сшитой структуры и интенсивное окисление углеродсодержащего остатка (основная экзотермическая стадия).
3	619,5–1099	40	2,24	37,76 % ($\approx 40,4$ мг)	Догорание и медленное окисление углеродистого остатка и неорганических примесей, формирование небольшого минерального остатка.

Из табл. 2 для стандартных показателей термостабильности полимеров принимаем:

- T_{10} (10 % потери массы, 90 % остатка) $\approx 350,6$ °С;
- T_{50} (50 % потери массы) – по точке 50 % остатка $\approx 485,6$ °С;
- $T_{80} \approx 848,8$ С;

– T_{90} (90 % потери массы) – по интерполяции на конечном участке между 20 % (848,8 °С) и 2,24 % (1099 °С)

Введение 10 мас. % астраленов смещает температуру 50-процентной потери массы примерно на 80–100 °С вверх, что свидетельствует о росте термостабильности композиции в среднем температурном диапазоне.

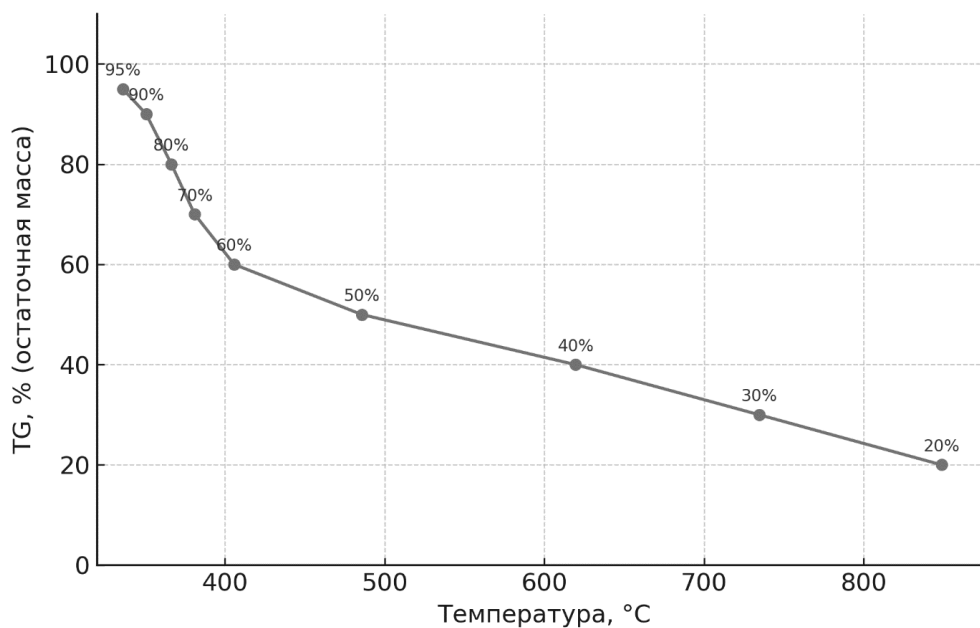


Рис. 2. Температурные точки T_5 , T_{10} , T_{20} , ..., T_{80} для модифицированного полимерного материала по ТГ-кривой

Графически на рис. 2 видно, при каких температурах достигаются заданные уровни остаточной массы (95–20 %), что наглядно показывает смещение характеристических температур разложения модифицированного полимерного материала. Сопоставление этих данных с результатами термогравиметрического анализа исходного полимерного композиционного материала на основе TIP TOP SOLUTION MTR (без добавки астралена), проведённого в

аналогичных условиях, показывает, что для модифицированного материала точки T_{10} , T_{50} и T_{80} систематически смещены в область более высоких температур. При этом общая форма ТГ-кривой и трёхстадийная схема разложения сохраняются, что указывает на сохранение характерного механизма терморазрушения полимерной матрицы при одновременном увеличении её термического запаса устойчивости.

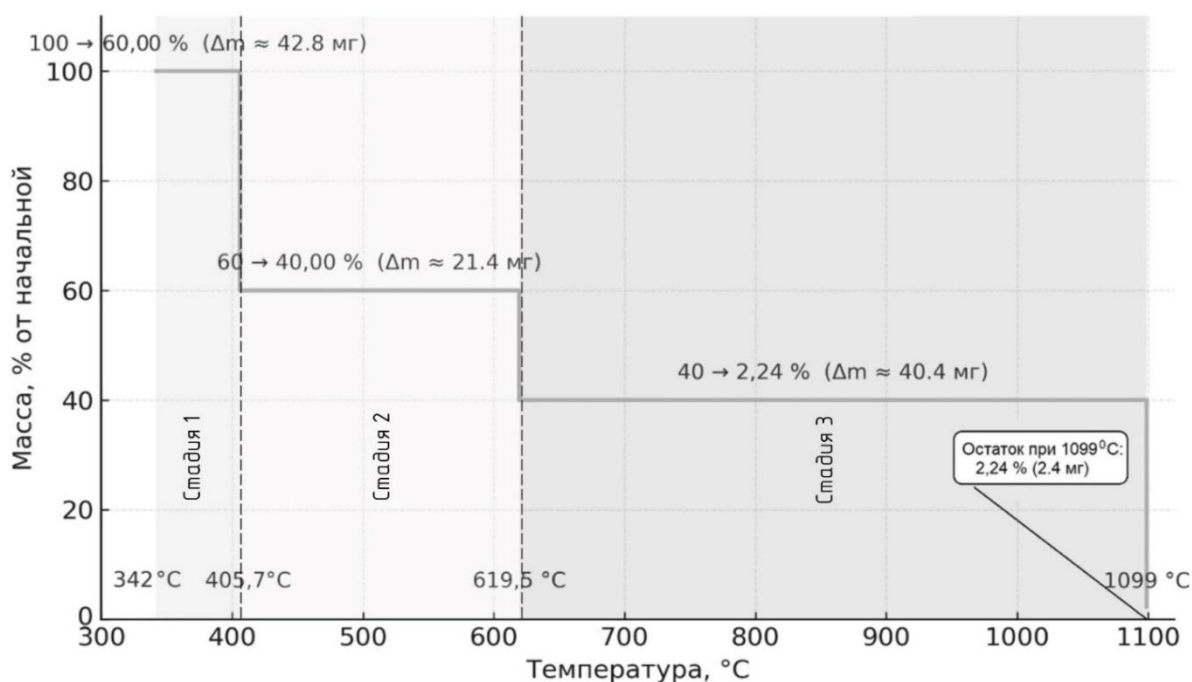


Рис. 3. Лестничная диаграмма термогравиметрического анализа стадий потери массы модифицированного полимерного композиционного материала (10 мас.% астралена).

Лестничная диаграмма (рис. 3) также демонстрирует, что температурные границы стадий разложения для модифицированного материала сдвинуты вверх по шкале температур по сравнению с исходным полимерным материалом: основная ступень потери массы реализуется при более высоких температурах, а остаток при 1099 °C несколько выше. Таким образом, введение 10 мас.% астралена не меняет качественно последовательность стадий разложения, но приводит к более «термостойкому» распределению этих стадий, что подтверждает влияние наноглеродного наполнителя именно на термостабильность полимерного компонента.

Обсуждение термостабильности модифицированного полимерного материала

1. *Смещение температур начала и средней стадии разложения.* Для модифицированного материала начало интенсивной потери

массы фиксируется при $T_{нач} \approx 342$ °C, а температура 10 %-ной потери массы составляет $T_{10} \approx 350,6$ °C. Эти значения заметно превышают типичный интервал начала интенсивной термоокислительной деградации термопластичных полиуретанов, который по литературным данным лежит приблизительно в области 280–320 °C [1, 4, 5–7]. Таким образом, введение астраленов указанной выше концентрации в клеевую композицию обеспечивает увеличение температурного запаса исследуемого образца порядка 30–40 °C относительно базового полиуретанового уровня, что следует рассматривать как положительный эффект с точки зрения повышения термостабильности материала в докритическом для конструкции диапазоне температур.

2. *Поведение в зоне «средних» температур.* Температура 50 %-ной потери массы для модифицированного материала достигает $T_{50} \approx 485,6$ °C, что существенно выше

диапазона, в котором, согласно обобщающим данным по термодеструкции полиуретанов, завершается основная стадия разложения (как правило, при температурах ниже 420–430 °С [1, 4, 6, 7]). Это позволяет говорить о смещении «середины» диапазона разрушения в область более высоких температур на 60–80 °С. С инженерной точки зрения такой сдвиг означает, что при одинаковом тепловом воздействии модифицированный композиционный материал дольше сохраняет значительную долю массы и, соответственно, потенциально дольше поддерживает работоспособность защитного слоя в составе многослойной оболочки.

3. Экзотермические процессы и вклад углеродного наполнителя. На ДТА для модифицированного материала наблюдается два экзотермических комплекса, причём второй (с максимумом около 505 °С, началом около 423 °С и завершением около 613 °С) имеет большую площадь и высоту. Это указывает на выраженное окисление углеродсодержащего остатка и активное тепловыделение в диапазоне 400–600 °С. С точки зрения пожарной опасности это не даёт эффекта пассивной «угольной защиты», но подтверждает перераспределение тепловых процессов и более поздний характер основного разложения по сравнению с типичными термопластичными полиуретанами [1, 4–7].

4. Угольный остаток. Остаток около 2,24 % при 1099 °С остаётся низким и не обеспечивает мощной теплоизоляции, способной существенно экранировать тепловой поток, что соответствует представлениям о роли развитого коксового слоя как основного теплоизолирующего барьера в системах конструктивной огнезащиты полимерных материалов [3, 4, 8]. Однако само смещение начала и середины разложения в область более высоких температур означает, что материал выдерживает большее тепловое воздействие до перехода в критическое состояние.

5. Влияние астралена на полимерную матрицу. Сопоставление результатов термогравиметрического анализа модифицированного материала с данными для исходного полимерного композиционного материала TIP TOP SOLUTION MTR (без астралена), полученными в тех же условиях, показывает, что введение 10 мас.% наноуглеродного наполнителя приводит к смещению температур начала интенсивного разложения и 50 %-ной потери массы в область более высоких значений, а также к некоторому увеличению остатка при 1099 °С. При этом трёхстадийный характер разложения полимерной матрицы сохраняется. Указанные изменения свидетельствуют о том, что астрален в данном случае выступает не просто инертным наполнителем, а повышает термостабильность

полимерного компонента, что согласуется с механизмами влияния углеродных наноструктур, описанными в литературе [4, 5, 7–11].

С точки зрения сценария пожара пролива это означает:

- при одинаковом тепловом потоке верх ПЭР, усиленный или защищённый модифицированным слоем, резервуар сможет дольше оставаться работоспособным до разрушения;
- критический интервал, в котором оболочка начинает массово терять прочность и целостность, смещается в область более высоких температур и, соответственно, более жёстких режимов пожара [12–14];
- даже при ограниченной карбонизации материала само увеличение термостабильности в «рабочем» диапазоне температур даёт запас времени для тушения, охлаждения и предотвращения каскадного вовлечения соседних ПЭР.

Оценка огнестойкости и влияния на каскадное развитие пожара

С точки зрения огнестойкости верх ПЭР в условиях пожара пролива ключевыми являются:

- температура, при которой материал начинает интенсивно разрушаться ($T_{нач}$, T_{10});
- температура и длительность нахождения в диапазоне максимальной скорости разложения (около T_{50});
- наличие/отсутствие защитного остатка, способного экранировать тепловой поток.

Наноуглеродная модификация полимерного композиционного материала:

1. Увеличивает температурный запас устойчивости до начала интенсивного разложения (смещение $T_{нач}$, и T_{10} вверх).

2. Сдвигает основную массу термических разрушений в область более высоких температур, что увеличивает время до критического состояния оболочки при заданном тепловом потоке.

3. Не формирует полноценного угольного теплоизоляционного слоя, поэтому огнестойкость не переходит в класс «огнезащитных покрытий» в строгом смысле, но повышает устойчивость материала в докритической области температур [12–14].

В контексте каскадного развития пожара это означает:

- вероятность «быстрого» разрушения ПЭР и перехода к сценарию тотального пролива топлива при сравнительно умеренных тепловых нагрузках (300–400 °С на поверхности) понижается;
- при разработке теплотехнических и вероятностных моделей каскадного пожара увеличение температурных порогов

разрушения приводит к снижению интенсивностей переходов в состояние отказа и, соответственно, к уменьшению вероятности последовательного выхода из строя соседних резервуаров;

– модифицированный материал следует рассматривать как элемент системы мер, направленных на снижение каскадного риска (наряду с увеличением противопожарных разрывов, охлаждением, экранированием и др.), но не как единственное средство огнезащиты.

Заключение

1. Проведено термогравиметрическое исследование полимерного композиционного материала на основе клеевой системы TIP TOP SOLUTION MTR, модифицированного 10 мас.% астралена, в воздушной атмосфере до 1100 °С. Выделены три стадии термического разложения с суммарной потерей массы порядка 97,8 % и остатком около 2,24 %.

2. Показано, что начало интенсивного разложения и температурный интервал основной стадии термодеструкции модифицированного полимерного материала смещаются в область более высоких температур (примерно на 30–80 °С) по сравнению с типичными

значениями для термопластичных полиуретанов. Это свидетельствует о повышенной термостабильности композиции в рабочем диапазоне температур пожара пролива и позволяет рассматривать модифицированный клеевой слой как потенциальный элемент конструктивной защиты оболочек полимерных эластичных резервуаров.

3. Несмотря на малую величину остатка при 1099 °С, повышение температурных порогов начала и основной стадии разрушения приводит к увеличению времени до отказа материала при заданных тепловых воздействиях. Это создаёт дополнительный резерв времени для проведения мероприятий по тушению и охлаждению и может способствовать уменьшению вероятности каскадного развития пожара.

4. Модифицированный полимерный материал следует рассматривать как элемент комплекса мер по снижению каскадного риска, способный дополнительно повысить огнестойкость ПЭР по сравнению с использованием только немодифицированных полимерных оболочек. Для инженерной оценки требуемого эффекта необходимы дальнейшие исследования с совмещением данных термоанализа, теплотехнического моделирования и вероятностных моделей эскалации пожара.

Список литературы

1. Нестеров С. В., Бакирова И. Н., Самуилов Я. Д. Термическая и термоокислительная деструкция полиуретанов: механизмы протекания, факторы влияния и методы повышения термической стабильности. Обзор по материалам отечественных и зарубежных публикаций // Вестник Казанского технологического университета. 2011. Т. 14. С. 10–23.

2. Термический анализ при исследовании объектов судебной пожарно-технической экспертизы / М. Ю. Принцева, И. Д. Чешко, Ю. Н. Бельшина [и др.]. СПб: СПбУ ГПС МЧС России, 2018. 112 с.

3. Павлович А. В., Дринберг А. С., Машляковский Л. Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. М.: ООО «Издательство «ЛКМ-пресс»», 2018. 488 с.

4. Chrissafis K., Bikiaris D. N. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers. *Thermochimica Acta*, 2011, vol. 523, issue 1–2, pp. 1–24.

5. Bikiaris D., Chrissafis K. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers. *Thermochimica Acta*, 2011, vol. 523, issue 1–2, pp. 25–45.

6. Dorigato A., Rigotti D., Pegoretti A. Thermoplastic polyurethane blends with thermal energy

storage/release capability. *Frontiers in Materials*, 2018, vol. 5, article 58.

7. Functionalized graphene from electrochemical exfoliation for thermoplastic polyurethane: Thermal stability, mechanical properties, and flame retardancy / Cai W., Feng X., Hu W. [et al.]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2016, vol. 55, issue 43, pp. 10681–10689.

8. Nanocarbon-based flame retardant polymer nanocomposites / Yang Y., Díaz Palencia J. L., Wang N. [et al.]. *Molecules*, 2021, vol. 26, issue 15, article 4670.

9. Пономарев А. Н. Современные подходы к модификации полимерных материалов наноглеродными структурами // Российские нанотехнологии. 2012. Т. 7. № 5–6. С. 256–271.

10. Юдович В. М. Физико-химические свойства и структурные особенности композитных материалов, модифицированных астраленами: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. СПб: СПбГУ, 2011. 24 с.

11. Патент 2196731 Российская Федерация С2. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа / А. Н. Пономарев, В. А. Никитин; опубл. 20.01.2003. Бюл. № 2. 17 с.

12. Самигуллин Г. Х., Захаров А. Е. Снижение пожарной опасности при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы

управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 8–16.

13. Патент на полезную модель 228912 Российская Федерация U1 МПК В 65 D 88/16 Эластичный резервуар для хранения нефтепродуктов, выполненный из модифицированного полимерного материала / Г. Х. Самигуллин, А. Е. Захаров, В. О. Булатов [и др.]; опубл. 16.09.2024. Бюл. № 26.

14. Самигуллин Г. Х., Захаров А. Е., Гончаров Г. И. Повышение термостойкости внешнего слоя полимерных эластичных резервуаров путем нанесения модифицированных наноглеродных компонентов // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXVI Международной научно-практической конференции, посвящённой 375-й годовщине образования пожарной охраны России. М.: ВНИИПО МЧС России, 2024. С. 511–516.

References

1. Nesterov S. V., Bakirova I. N., Samuilov Ya. D. Termicheskaya i termookislitel'naya destruktziya poliuretanov: mekhanizmy protekaniya, faktory vliyaniya i metody povysheniya termicheskoy stabil'nosti. Obzor po materialam otechestvennykh i zarubezhnykh publikatsiy [Thermal and thermo-oxidative degradation of polyurethanes: mechanisms, influencing factors and methods for improving thermal stability. A review of domestic and foreign publications]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2011, 14:10–23.

2. Termicheskiiy analiz pri issledovanii ob'ektov sudebnoy pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy [Thermal analysis in the investigation of objects of forensic fire-technical examination] / M. Yu. Printseva, I. D. Cheshko, Yu. N. Bel'shina [et al.]. SPb.: Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2018. 112 p.

3. Pavlovich A. V., Drinberg A. S., Mashlyakovskiy L. N. Ognezashchitnye vspuchivayushchiesya lakokrasochnye pokrytiya [Intumescent fire-protective paint coatings]. Moscow: LKM-Press; 2018. 488 p.

4. Chrissafis K., Bikiaris D. N. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers. Thermochimica Acta, 2011, vol. 523, issue 1–2, pp. 1–24.

5. Bikiaris D., Chrissafis K. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers. Thermochimica Acta, 2011, vol. 523, issue 1–2, pp. 25–45.

6. Dorigato A., Rigotti D., Pegoretti A. Thermoplastic polyurethane blends with thermal energy storage/release capability. Frontiers in Materials, 2018, vol. 5, article 58.

7. Functionalized graphene from electrochemical exfoliation for thermoplastic polyurethane: Thermal stability, mechanical properties, and flame retardancy / Cai W., Feng X., Hu W. [et al.]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2016, vol. 55, issue 43, pp. 10681–10689.

8. Nanocarbon-based flame retardant polymer nanocomposites / Yang Y., Díaz Palencia J. L., Wang N. [et al.]. Molecules, 2021, vol. 26, issue 15, article 4670.

9. Ponomarev A. N. Sovremennye podkhody k modifikatsii polimernykh materialov nanouglerodnymi strukturami [Modern approaches to the modification of polymer materials by nanocarbon structures]. Rossiyskie nanotekhnologii, 2012, vol. 7(5–6), pp. 256–271.

10. Yudovich V. M. Fiziko-khimicheskie svoystva i strukturnye osobennosti kompozitnykh materialov, modifitsirovannykh astralenyami. Avtoreferat diss. kand. khim. nauk [Physicochemical properties and structural features of composite materials modified with astralens. Abstract of Cand. Chem. Sci.]. SPb.: Saint Petersburg State University; 2011. 24 p.

11. Ponomarev A. N., Nikitin V. A. Poliedral'nye mnogosloynnye uglerodnye nanostруктуры fulleroidnogo tipa [Polyhedral multilayer carbon nanostructures of fullerene type]. Patent RF 2196731 C2. Bulletin No. 2. 17 p.

12. Samigullin G. Kh., Zakharov A. E. Snizhenie pozharnoi opasnosti pri ispol'zovanii polimernykh elastichnykh rezervuarov dlya khraneniya nefi i nefteproduktov [Reducing fire hazard when using polymer flexible reservoirs for storage of oil and petroleum products]. Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere, 2023, vol. 1 (65), pp. 8–16.

13. Elastichnyi rezervuar dlya khraneniya nefteproduktov, vypolnenniy iz modifitsirovannogo polimernogo materiala [Elastic reservoir for petroleum products storage, made of modified polymer material] / G. Kh. Samigullin, A. E. Zakharov, V. O. Bulatov [et al.]. Patent na poleznuyu model' 228912 Rossiyskaya Federatsiya U1, IPC B65D 88/16. Bulletin No. 26.

14. Samigullin G. Kh., Zakharov A. E., Goncharov G. I. Povyshenie termostoykosti vneshnego sloya polimernykh elastichnykh rezervuarov putem naneseniya modifitsirovannykh nanouglerodnykh komponentov [Improving the thermal resistance of the external layer of polymer flexible reservoirs by applying modified nanocarbon components]. Aktual'nye problemy pozharnoi bezopasnosti: materialy XXXVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 375-y godovshchine obrazovaniya pozharnoy okhrany Rossii. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 2024. Pp. 511–516.

Захаров Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств

E-mail: frzakhsach@mail.ru

Zakharov Aleksandr Evgenievich

FSBEI HE «Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia»

Russian Federation, Saint Petersburg

Senior Lecturer, Department of Fire Safety of Technological Processes and Productions

E-mail: frzakhsach@mail.ru

УДК 621.0, 630.432.31

DOI 10.48612/ntp/a4hz-mx25-t5ea

ПРОСТЕЙШЕЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦЫ ГРУНТА НА ПОВЕРХНОСТИ КУЛИСНОЙ ЛОПАТКИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПОЖАРНОГО ГРУНТОМЕТАТЕЛЯ

А. А. КРАСНОВ¹, К. В. СЕМЕНОВА¹, Т. В. ПАШКОВА^{1,2}

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

²Ивановский государственный университет, г. Иваново
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: krasnow.a.a@mail.ru, pboz2018@mail.ru, pashtavi@yandex.ru

В работе рассмотрены вопросы простейшей теории движения частиц грунта относительно поверхности лопатки, жёстко связанной с вращающейся кулисой привода метателя. Показано, что движение частиц грунта относительно поверхности лопатки в самом простом случае описываются частным видом уравнения Хилла - обыкновенным линейным дифференциальным уравнением второго порядка с периодическим коэффициентом.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пожарный грунтометатель, движение грунта в метателе грунта.

THE SIMPLEST EQUATION OF THE DYNAMICS OF A SOIL PARTICLE ON THE SURFACE OF THE ROCKER BLADE OF THE WORKING BODY OF A FIRE-FIGHTING GROUND-THROWER

A. A. KRASNOV¹, K. V. SEMENOVA¹, T. V. PASHKOVA^{1,2}

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

²Ivanovo State University,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: krasnow.a.a@mail.ru, pboz2018@mail.ru, pashtavi@yandex.ru

The paper considers the issues of the simplest theory of the motion of soil particles relative to the surface of the blade, rigidly connected to the rotating curtain of the thrower drive. It is shown that the motion of soil particles relative to the surface of the blade in the simplest case is described by a special form of the Hill equation - an ordinary linear differential equation of the second order with a periodic coefficient.

Keywords: fire safety, fire-fighting ground thrower, soil movement in the ground thrower.

Как известно, низовые пожары весьма опасны [1, 2], поскольку огонь приводит не только к уничтожению растительного покрова и животного мира, но и к деградации почвы. Процесс восстановления плодородного слоя после поражения его огнём может затянуться на несколько десятилетий. Кроме того, низовые пожары в ветреную погоду быстро распространяются, угрожая населённым пунктам, со всеми вытекающими последствиями. Низовые пожары в лесных массивах также легко переходят в верховые пожары, тушение которых обычно представляет собой нетривиальную задачу.

Локализация низовых пожаров достаточно проста при условии, что их можно своевременно обнаружить и если поблизости есть мощные источники воды. Однако в отсутствие таковых организация «водяного» тыла требует значительных ресурсов, времени и средств, что зачастую экономически неподъёмно для удалённых районов. В связи с этим использование грунтов для тушения возгораний представляет собой эффективный метод борьбы с низовыми пожарами, а разработка устройств, способных оперативно доставлять необходимое количество грунта к месту возгорания, грунто-

метателей, является экономически обоснованной и актуальной задачей [3].

Идея использования грунта для засыпки горящих материалов, без сомнения, не нова. Естественно предположить, что она была знакома уже древним разумным обитателям нашей планеты, достаточно близко познакомившимся со свойствами огня. Более того, можно допустить, что необходимость тушить пожары для спасения своих жилищ и имущества стала одним из факторов, способствовавших развитию кроманьонца, поскольку борьба с огнём требует не столько наличия инстинктов, сколько способностей переносить пиковые когнитивные нагрузки на человеческий разум [4].

Логично, что если на первых порах для тушения огня с помощью грунта использовались лишь руки, то вскоре в ход пошли и примитивные орудия труда. Следовательно, по мере развития технологий и машин должна была совершенствоваться и техника, предназначенная для тушения пожаров с помощью подручных материалов.

Однако, согласно [5], целенаправленная разработка машин для тушения пожаров с помощью грунта в России (СССР) началась лишь в 1939 году, а реальные конструкции появились только к 1961 году. Обзоров, касающихся истории применения подобных землеройных машин для тушения пожаров за пределами России, в открытой литературе найти не удалось. Поэтому, факты, приведённые в [5] требуют осмысления. Вполне возможно, что прогрессу технических устройств в этом направлении препятствовала обычная человеческая инертность и консерватизм мышления. Вполне возможно, что мы имеем провал в историческом нарративе использования землеройных машин.

Позволим себе выдвинуть гипотезу, призванную хоть как-то закрыть этот пробел в истории развития техники. Для её обоснования проведём краткий анализ патентной базы, находящейся в открытом доступе.

Изучение патентных документов на машины для метания грунта датирует их разработку в СССР как минимум двумя десятилетиями ранее. Так, в патенте СССР от 1925 года с приоритетом от 1919 года [6] описывается усовершенствованная машина, метаящая грунт за счёт центробежной силы. Хотя доступ к российским патентам до 1917 года через сети все еще ограничен, содержание этого документа позволяет предположить, что аналогичные машины разрабатывались в России и ранее. Косвенным подтверждением этого служит патент США от 1903 года [7], в котором описано устройство с ротором и ножами, нарезающими и выбрасывающими грунт на значительное расстояние. Было бы очень нелогичным и непрактичным

для американцев не использовать машины для обработки земли, способных к метанию грунта, в целях тушения пожаров.

Таким образом, возможность применения машин, способных использовать грунт для тушения пожаров, вполне можно отнести к значительно более раннему периоду, чем 40 годы XX века. А если принять во внимание, что для тушения таких пожаров можно использовать и снег, чьи баллистические свойства близки к грунту, то создание машин, способных метать землю, правомерно отнести ко времени регистрации самых первых патентов на метатели снега, например, в США, к первой половине XIX века [8].

Очевидно, что машины, способные перемещать грунты с помощью их метания, могут иметь разные метательные органы. Известны несколько классификаций этих устройств [5, 9, 10, 11] для метательных машин, в основу которых положены различные таксономические признаки. Но в условиях метания грунтов наибольшее распространение имеет метатель, реализующий метание за счёт центробежных сил, который представляет собой вращающийся диск, ротор с лопатками, способными захватывать подготовленный грунт, сообщать ему центробежное ускорение, за счёт которого грунт приобретает начальную скорость, величина и направление которой в большей степени и обуславливают дальность его метания. Причина этого кроется, скорее всего, в высокой степени надёжности такого рода устройств по сравнению, например, с ленточными метателями, метательные органы которых подвержены интенсивному износу при взаимодействии со слабо подготовленными грунтами, что при тушении пожаров является ключевым параметром.

Заметим, что механика взаимодействия грунтов с поверхностями лопаток не только интересна сама по себе, но необходима как теоретическая база проектирования метателей. Причём, в простейшей своей постановке эта задача сводится к задаче движения материальной точки вдоль вращающегося с постоянной скоростью стержня, которая уже во времена И.В. Мещерского была включена в его знаменитый задачник по теоретической механике [12, 13], что свидетельствует о практической её значимости.

В более сложной постановке вопросы движения частиц грунта по лопаткам вращающегося с постоянной скоростью ротора рассмотрены в [9, 14, 15]. В работах [16–20] ставилась задача описания движения частиц грунта по лопаткам оптимальной формы, решалась задача поиска брахистохроны для поля центробежных сил, возникающего при равномерном вращении метателя.

Недостатками устройств метателя грунта, в качестве которого используется вращающийся ротор с лопатками являются, в частности, с одной стороны, высокие ударные нагрузки, которые приводят к перегрузкам лопаток и к измельчению метаемого грунта, что сказывается на дальности его метания, с другой, к интенсивному износу внутренних поверхностей неподвижных кожухов, на которые отбрасывается грунт во время работы метателя. Кроме этого, при взаимодействии с кожухом частицы грунта испытывают действие сил трения, в результате чего повышают энергетические затраты на метание тушащего материала. Преодоление этих недостатков с помощью устройств подвижных кожухов, например [21], приводит к чрезмерному усложнению конструкции механизма метания грунта, и, как следствие, к снижению его надёжности, что, как было сказано выше, в условиях пожаротушения неприемлемо.

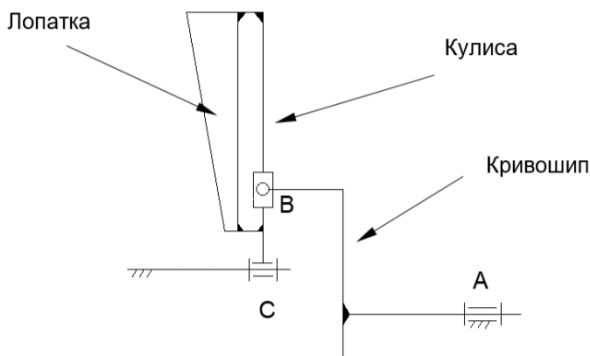


Рис. 1. Фрагмент кулисного метателя по патенту [22]

Для улучшения параметров пожарного грунтометателя был предложен метатель, ротор которого выполнен в виде вращающейся кулисы кривошипно-кулисного механизма, на которой закреплена лопатка, способная захватывать грунт (рис. 1) [22]. (Использована терминология Артоболевского И. И. [23]). При этом, очевидно, привод метателя может быть выполнен в виде как четырёхзвенного, так и трёхзвенного механизма.

Такого рода метатель обеспечивает преобразование постоянной скорости вращения кривошипа в переменное вращательное движение кулисы. При этом, ускорение кулисы является переменной величиной, что может обеспечить отрыв грунта от лопатки ротора не только за счёт центробежных сил инерции, но и за счёт сил инерции, действующих на частицы грунта, возникающих при отрицательных значениях ускорения вращения кулисы.

Для анализа возможностей использования метательных органов с таким механизмом привода, необходимо описать движение частиц грунта относительно поверхности лопаток метателя, движение которых описывается нелинейными алгебраическими уравнениями [23, 24].

Для такого описания примем допущения, позволяющие получить дифференциальные уравнения для простейшей задачи движения частиц грунта относительно лопатки кулисного метателя. В частности, будем считать: частицу грунта материальной точкой; все звенья механизма абсолютно твёрдыми телами; силы трения между лопаткой и частицей грунта отсутствуют; внешние силы на частицу грунта не действуют, сама лопатка представляет собой металлический стержень.

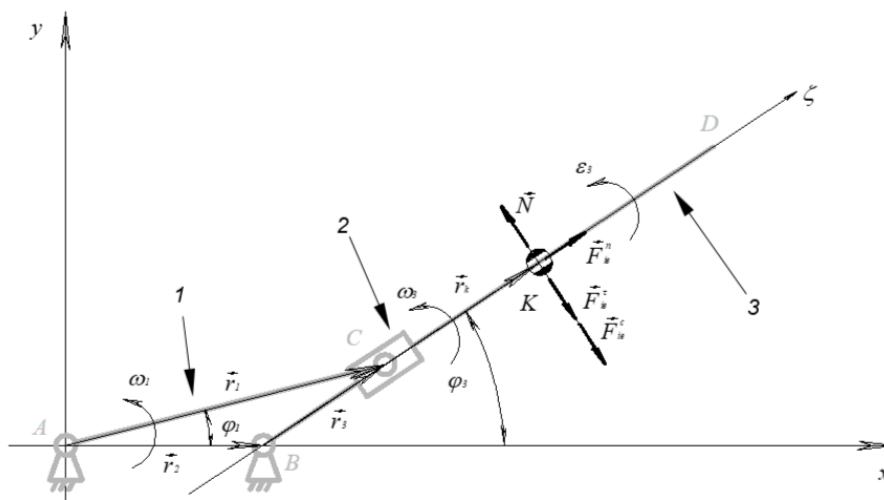


Рис. 2. Кинематическая схема механизма привода кулисной лопатки метателя с изображённым на ней замкнутым векторным контуром по В. А. Зинovieву.

Обозначения:
1 — кривошип;
2 — камень; 3 — кулиса

Итак, пусть имеется механизм привода лопатки грунтометателя, представляющий собой кривошипно-кулисный механизм с вращающейся кулисой. Кинематическая схема механизма показана на рис. 2. Пусть материальная точка расположена на кулисе. В системе координат, связанной с кулисой на материальную точку в рамках принятых допущений, действуют только силы инерции, под действием которых она движется вдоль кулисы, и реакция связи со стороны стержня.

Относительное движение для нашей точки определяется известным [26] уравнением:

$$m \frac{d\vec{v}_r}{dt} = \sum \vec{F} + \vec{F}_{ie} + \vec{F}_{ic} = \vec{N} + \vec{F}_{ie}^n + \vec{F}_{ie}^\tau + \vec{F}_{ic}, \quad (1)$$

где m – масса точки;

\vec{F} – внешние силы;

\vec{N} – реакция связи;

\vec{F}_{ie} – переносные силы инерции;

\vec{F}_{ie}^τ – тангенциальная переносная сила инерции;

\vec{F}_{ie}^n – нормальная переносная сила инерции;

\vec{F}_{ic} – сила Кориолиса, которая описывает движение материальной точки в неинерциальной системе отсчёта.

Так как мы не учитываем внешние силы, а силы взаимодействия частицы грунта с лопаткой уравновешены, выражение (1) упрощается:

$$m \frac{d\vec{v}_r}{dt} = \vec{F}_e^n, \quad (2)$$

и в проекции на ось $B\zeta$, после сокращения масс в обеих частях уравнения, будет выглядеть так:

$$\frac{dv_\zeta}{dt} = \frac{d^2\zeta}{dt^2} = \omega_3^2 \zeta, \quad (3)$$

где ω_1 – угловая скорость кривошипа;

ω_3 – угловая скорость кулисы;

$\zeta = r_k = BK$ – координата материальной точки в подвижной системе координат, связанной с кулисой 3, (рис. 2).

Таким образом, движение точки вдоль лопатки описывается линейным однородным дифференциальным уравнением второго порядка. В кулисном механизме угловая скорость движения кулисы является функцией времени или функцией координаты входного кривошипа. Для того, чтобы получить решение (3), необходимо выписать в явном виде зависимость угловой скорости кулисы от времени. Для этого воспользуемся методом Зинovieва [27] (рис. 2). Составляя векторный замкнутый контур:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_2 + \vec{r}_3, \quad (4)$$

где \vec{r}_1 – вектор, направленный от кинематической пары A к кинематической паре C вдоль кривошипа AC ;

\vec{r}_2 – вектор, направленный от кинематической пары A к кинематической паре B вдоль стойки AB ;

\vec{r}_3 – вектор, направленный от кинематической пары B к кинематической паре C вдоль кулисы BC , и проецируя его на систему координат XOY , начало которой связана со стойкой A , получим следующее выражение:

$$\begin{cases} r_1 \cdot \cos(\omega_1 t) = r_2 + r_3(t) \cdot \cos(\varphi_3(t)), \\ r_1 \cdot \sin(\omega_1 t) = r_3(t) \cdot \sin(\varphi_3(t)). \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему (5), относительно $r_3=r_3(t)$ и $\varphi_3=\varphi_3(t)$, получаем:

$$\begin{aligned} \varphi_3(t) &= \arctg \left[\frac{r_1 \cdot \sin(\omega_1 t)}{r_1 \cdot \cos(\omega_1 t) - r_2} \right], \\ r_3(t) &= \sqrt{r_1^2 - 2r_1 \cdot r_2 \cdot \cos(\omega_1 t) + r_2^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Продифференцировав (5) по времени, получаем систему уравнений, позволяющую найти зависимость угловой скорости кулисы от времени в явном виде:

$$\begin{cases} -r_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t) = v_{3r} \cdot \cos(\varphi_3) - r_3 \cdot \omega_3 \cdot \sin(\varphi_3), \\ r_1 \cdot \omega_1 \cdot \cos(\omega_1 t) = v_{3r} \cdot \sin(\varphi_3) + r_3 \cdot \omega_3 \cdot \cos(\varphi_3). \end{cases} \quad (7)$$

Система уравнений (7) линейна, решая её, получаем явный вид зависимости угловой скорости кулисы от времени:

$$\omega_3(t) = \omega_1 \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 - 2r_1 \cdot r_2 \cdot \cos(\varphi_1) + r_2^2}} \cos \left\{ \arctg \left[\frac{r_1 \cdot \sin(\omega_1 t)}{r_1 \cdot \cos(\omega_1 t) - r_2} \right] - \omega_1 t \right\}. \quad (8)$$

Таким образом, уравнение движение частицы грунта вдоль лопатки будет

описываться дифференциальным уравнением второго порядка вида:

$$\frac{d^2\zeta}{dt^2} - \omega_1^2 \cdot r_1^2 \frac{\cos^2 \left\{ \arctg \left[\frac{r_1 \cdot \sin(\omega_1 t)}{r_1 \cdot \cos(\omega_1 t) - r_2} \right] - \omega_1 t \right\}}{r_1^2 - 2r_1 \cdot r_2 \cdot \cos(\omega_1 t) + r_2^2} \zeta = 0 . \quad (9)$$

Преобразуем (9) к более удобному виду. Для этого используем вспомогательный прямоугольный треугольник (рис. 3), у которого противолежащий катет равен $r_1 \cdot \sin(\omega_1 t)$, а прилежащий $r_1 \cdot \cos(\omega_1 t) - r_2$.

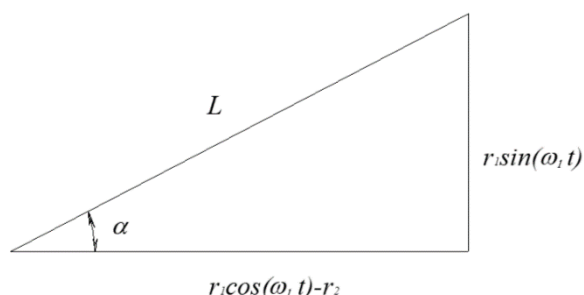


Рис. 3. Вспомогательный треугольник

После преобразований уравнение (9) будет выглядеть так:

$$\frac{d^2\zeta}{dt^2} - \omega_1^2 \cdot r_1^2 \frac{[r_1 - r_2 \cdot \cos(\omega_1 t)]^2}{(r_1^2 - 2r_1 \cdot r_2 \cdot \cos(\omega_1 t) + r_2^2)^2} \zeta = 0 . \quad (10)$$

Поскольку по условиям задачи $r_1 > r_2$, то вводя обозначение $k = \frac{r_2}{r_1}$, перепишем (10) в окончательном виде:

$$\frac{d^2\zeta}{dt^2} - \left\{ \omega_1 \frac{1 - k \cdot \cos(\omega_1 t)}{1 - 2 \cdot k \cdot \cos(\omega_1 t) + k^2} \right\}^2 \zeta = 0 . \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение (11) представляет собой частный случай уравнения Хилла – дифференциальное линейное уравнение второго порядка без правой части с периодическим коэффициентом [28]. Поиск решения этого уравнения в научной литературе не дал положительного результата. Очевидно, что оно может быть решено численными методами. Вопрос же о возможности решения его в конечном виде может рассматриваться в качестве отдельной математической задачи. Анализ уравнения (11) показывает, что оно при $r_2 = 0$ сводится к (3), что показывает верность проведённых выкладок.

Выводы

Таким образом, в простейшем случае движение частицы грунта вдоль поверхности лопатки, жёстко связанной с кулисой механизма привода, описывается частным случаем уравнения Хилла – обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка с периодическими коэффициентами без правой части.

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы «Исследование возможности повышения эффективности пожарного грунтометателя» по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Список литературы

1. Новые технические решения в сфере тушения лесных пожаров / О. И. Григорьева, В. А. Савченкова, И. В. Григорьев [и др.] // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2024. Т. 28. № 4. С. 66–77.
2. Efficiency and mechanism of fire suppression through pneumatic sandblasting fire-fighting / Fanbao Chen, Tingting Xu, Guanyu Hou [et al.]. Case Studies in Thermal Engineering, 49 (2023), 103361.
3. Авдеева И. Н., Гнусов М. А. Экономическое обоснование целесообразности

использование грунтомета для борьбы с лесными пожарами // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2014. Т. 2. № 1 (6). С. 320–327.

4. Поршнев Б. Ф. О начале человеческой истории. (Проблемы палеопсихологии). М.: «Мысль». 1974. 487 с.

5. Малюков С. В., Ступников Д. С. Истоки зарождения грунтометательных машин // Воронежский научно-технический вестник. 2018. Т. 4. № 4 (26). С. 83–96.

6. Патент СССР SU 523. Машина для производства земляных работ / К. И. Четыркин; опубл. 31.08.1925.

7. Berglund P. Grove N. Ditching machine. Patent US 738597. opubl. 08.09.1903.
8. Streeter S. Improvement in machinery for clearing snow and ice from railroad-tracks. Patent US 5347. opubl. 30.10.1847.
9. Кукибный А. А. Метательные машины. М.: Машиностроение. 1964. 196 с.
10. О классификации и о кинематике механизмов пожарных грунтометателей / А. А. Краснов, К. В. Семенова, Т. В. Пашкова [и др.] // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2023. С. 47–50.
11. Краснов А. А., Семенова К. В., Пашкова Т. В. Классификация метателей рыхлых материалов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 190–194.
12. Мещерский И. В. Сборник задач по теоретической механике. 3-е издан. Петроград: Издание Студенческого Кооператива «Политехник». 1923. 140 с.
13. Мещерский И. В. Сборник задач по теоретической механике. 12-е издан. Перераб. Л.-М.: Главная редакция технико-теор.-ой. лит-ры. 1937. 264 с.
14. Пиуновский И. И. Теоретические основы работы центробежного разбрасывателя с радиальными лопастями. Минск. Издательство АН БССР Труды института торфа. Т. VIII, 1959. 365 с.
15. Рабинович С. С. Исследование метателей для транспортирования грунта в землеройных машинах. М.: Государственный комитет Совета Министров СССР по автоматизации и машиностроению. ЦИНТИМАШ. Исследование строительных и дорожных машин. Т. XXVI., 1959. 60 с.
16. Семкив О. М., Шатохин В. М., Попова А. Н. Исследование движения частицы грунта по лопатке с профилем оптимальной формы в поле центробежных сил инерции // Міжвідомчий науково технічний збірник «Технічна естетика і дизайн». К.: КНУБА. 2012. Вип. 11. С. 165–174.
17. Шатохин В. М. Дослідження руху частки ґрунту по лопатці: результати комп'ютерних експериментів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 4. Т. 54. С. 135–144.
18. Семків О. М., Попова А. М. Дослідження траєкторії руху частки ґрунту після її вильоту з робочої поверхні лопатки роторного грунтометальника // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 4. Т. 54. С. 126–134.
19. Шатохин В. М., Шатохина Н. В. Оптимальные траектории движения точки, перемещающейся под действием центробежной силы инерции // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Харьков, 2012. Вып. 4/7 (58). С. 9–14.
20. Шатохин В. М., Семкив О. М., Попова А. Н. Об оптимальной форме лопатки роторного грунтометателя // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2013. № 2. С. 49–55.
21. Карпов А. П., Дашков Н. Г. Метатель грунта. А.С. СССР 388098 М.Кл. E02f 3/18 Оpubl. 22.06.1973. Бюл. № 28.
22. Патент Российская Федерация 2818223C1 E02F 3/18 (2006.01) A62C 3/02 (2006.01) E02F 3/18 (2024.01) A62C 3/02 (2024.01) Грунтометатель / А. А. Краснов, В. И. Караваев, К. В. Семенова [и др.]; опубл. 25.04.2024, Бюл. № 12.
23. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. М.: Издательство «Наука». 1980. 731 с.
24. Сумский С. Н. Расчёт кинематических и динамических характеристик плоских рычажных механизмов: Справочник. М.: Машиностроение. 1980. 312 с.
25. Краснов А. А. Кинематический анализ плоских механизмов с низшими кинематическими парами: учебное пособие. Иваново: ИГАСА. 2005. 153 с.
26. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. 10-е изд., перераб и доп. М.: Высш. шк. 1986. 416 с.
27. Зиновьев В. А. Теория механизмов и машин. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры. 1959. 420 с.
28. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. Изд. второе, стереотипное. М.: «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры. 1976. 576 с.

Reference

1. Novye tekhnicheskie resheniya v sfere tusheniya lesnyh pozharov [New technical solutions for extinguishing forest fires] / O. I. Grigor'eva, V. A. Savchenkova, I. V. Grigor'ev [et al.]. *Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, issue 4, pp. 66–77.
2. Efficiency and mechanism of fire suppression through pneumatic sandblasting fire-fighting / Fanbao Chen, Tingting Xu, Guanyu Hou [et al.]. *Case Studies in Thermal Engineering*, 49 (2023), 103361.
3. Avdeeva I. N., Gnusov M. A. Ekonomicheskoe obosnovanie celesoobraznosti ispolzovanie gruntometa dlya borby s lesnymi pozhamami [Economic justification for the feasibility of using a soil thrower to fight forest fires].

Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: Teoriya i praktika, 2014, issue 2, vol. 1 (6), pp 320–327.

4. Porshnev B. F. *O nachale chelovecheskoj istorii. (Problemy paleopsihologii)* [On the Beginning of Human History (Problems of Paleopsychology)]. Moscow: «Mysl». 1974. 487 p.

5. Malyukov S. V., Stupnikov D. S. Istoki zarozhdeniya gruntometatelnykh mashin [The origins of soil-throwing machines]. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij vestnik*, 2018, issue 4, vol. 4 (26), pp. 83–96.

6. Chetyrkin K. I. Mashina dlya proizvodstva zemlyanykh rabot [Machine for earthmoving], Patent SSSR SU 523, opubl. 31.08.1925

7. Berglund P. Grove N. Ditching machine. Patent US 738597. opubl. 08.09.1903.

8. Streeter S. Improvement in machinery for clearing snow and ice from railroad-trackc. Patent US 5347. opubl. 30.10.1847.

9. Kukibny A. A. *Metatel'nyye mashiny* [Throwing machines]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1964, 196 p.

10. O klassifikatsii i o kinematike mehanizmov pozharnykh grunto-metatelej [On the classification and kinematics of fire soil throwers] / A. A. Krasnov, K. V. Semenova, T. V. Pashkova [et al.]. *Aktualnye voprosy estestvoznaniya: sbornik materialov VIII Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. Pp. 47–50.

11. Krasnov A. A., Semenova K. V., Pashkova T. V. Klassifikatsiya metatelej ryhlykh materialov [Classification of loose material throwers]. *Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tehnologii: sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024. Pp.190–194.

12. Mesherskiy I. V. *Sbornik zadach po teoreticheskoy mehanike* [Collection of problems in theoretical mechanics]. 3-e izdan. Petrograd: Izdanie Studencheskogo Kooperativa «Politehnik», 1923. 140 p.

13. Meshcherskiy I. V. *Sbornik zadach po teoreticheskoy mekhanike* [Collection of problems in theoretical mechanics.]. 12-ye izdan. Pererab.. L.- Moscow: Glavnaya redaktsiya tekhniko-teor-oy. lit-ry, 1937. 264 p.

14. Piunovskiy I. I. *Teoreticheskie osnovy raboty centrobezhnogo razbrasyvatel'ya s radial'nymi lopastyami* [Theoretical principles of operation of a centrifugal spreader with radial blades]. Minsk. Izdatelstvo AN BSSR Trudy instituta torfa. vol. VIII, 1959. 365 p.

15. Rabinovich S. S. *Issledovanie metatelej dlya transportirovaniya grunta v zemleroynykh mashinah* [Research of throwers for transporting

soil in earthmoving machines]. Moscow: Gosudarstvennyy komitet Soveta Ministrov SSSR po avtomatizatsii i mashinogstroeniyu. CINTIMASH. Issledovanie stroitelnykh i dorozhnykh mashin. vol. XXVI, 1959. 60 p.

16. Semkiv O. M., Shatohin V. M., Popova A. N. Issledovanie dvizheniya chasticy grunta po lopatke s profilem optimalnoy formy v pole centrobezhnykh sil inercii [Study of the movement of a soil particle along a blade with an optimally shaped profile in a field of centrifugal inertial forces]. *Mizhvidomchij naukovu tehnichnij zbirnik «Tehnichna estetika i dizajn»*. K.: KNUBA, 2012, vol. 11, pp. 165-174.

17. Shatokhin V. M. Doslidzhennya rukhu chastky gruntu po lopattsi: rezul'taty komp'yuternykh eksperymentiv [Research of the movement of a soil particle along a blade: results of computer experiments]. *Pratsi Tavriyskoho derzhavnogo ahrotekhnolohi-chnoho universytetu*. Melitopol: TSATU, 2012, issue 4, vol. 54, pp. 135–144.

18. Semkiv O. M., Popova A. M. Doslidzhennya trayektoriy ruhu chastki gruntu pislya yiyi vilotu z robochoyi poverhni lopatki rotor-nogo gruntometalnika [Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University]. *Praci Tavriyskoho derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu*. Melitopol: TDATU, 2012, issue 4, vol. 54, pp. 126–134.

19. Shatohin V. M., Shatohina N. V. Optimalnye traektorii dvizheniya tochki, peremeshayushejsya pod dejstviem centrobezhnoy sily inercii [Optimal trajectories of a point moving under the action of the centrifugal force of inertia]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij*. Harkov, 2012, vol. 4/7 (58), pp. 9–14.

20. Shatohin V. M., Semkiv O. M., Popova A. N. Ob optimalnoy forme lopatki rotor-nogo gruntometatelya [On the optimal shape of a rotary soil thrower blade]. *Stroitel'naya mehanika inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij*, 2013, issue 2, pp. 49–55.

21. Karpov A. P., Dashkov N. G. Metatel grunta [Soil thrower]. A.S. SSSR 388098 M.Kl. E02f 3/18, opubl. 22.06.1973. Byul. № 28.

22. Gruntometatel [Gruntometatel']. A. A. Krasnov, V. I. Karavaev, K. V. Semenova [et al.]. Patent RF 2818223S1 E02F 3/18 (2006.01) A62C 3/02 (2006.01) E02F 3/18 (2024.01) A62C 3/02 (2024.01), opubl. 25.04.2024. Byul. № 12.

23. Artobolevskiy I. I. *Teoriya mehanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow: Izdatelstvo «Nauka», 1980. 731 p.

24. Sumskiy S. N. *Raschyot kinematicheskikh i dinamicheskikh harakteristik ploskikh rykhoznykh mehanizmov: spravochnik* [Calculation of kinematic and dynamic characteristics of flat lever mechanisms: spravochnik]. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 312 p.

25. Krasnov A. A. *Kinematicheskij analiz ploskih mehanizmov s nizshimi kinematicheskimi parami: uchebnoe posobie* [Kinematic analysis of flat mechanisms with lower kinematic pairs: tutorial]. Ivanovo: IGASA, 2005. 153 p.

26. Targ S. M. *Kratkij kurs teoreticheskoy mehaniki: uchebnik dlya vtuzov* [A Brief Course in Theoretical Mechanics: A Textbook for Universities]. 10-e izd., pererab i dop. Moscow: Vyssh. shk., 1986. 416 p.

27. Zinovev V. A. *Teoriya mehanizmov i mashin* [A Brief Course in Theoretical Mechanics]. Moscow: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit-ry, 1959. 420 p.

28. Kamke E. *Spravochnik po obyknovennym differentsialnym uravneniyam* [Handbook of Ordinary Differential Equations]. Izd. vtoroe, stereotipnoe. Moscow: «Nauka», Gl. red. fiz.-mat. lit-ry, 1976. 576 p.

Краснов Александр Алексеевич

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

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин.

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

Krasnov Aleksandr 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

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Professor of the Department of Natural Sciences

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

Семенова Ксения Васильевна

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: pboz2018@mail.ru

Semenova Kseniya Vasilievna

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: skv1_70@mail.ru

Пашкова Тамара Викторовна

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

кандидат физико-математических наук, доцент, профессор

Ивановский государственный университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент

E-mail: pashtavi@yandex.ru

Pashkova Tamara Viktorovna

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

Candidate of Physico-mathematical Sciences, docent, professor

Ivanovo State University,

Russian Federation, Ivanovo,

Candidate of Physico-mathematical Sciences, docent, associate professor

E-mail: pashtavi@yandex.ru

УДК 614.843.2

DOI 10.48612/ntp/1tbf-961p-52te

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОЖАРНЫХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ НАПОРА В РУКАВНЫХ ЛИНИЯХ

С. О. КУРТОВ¹, В. П. МАЛЫЙ¹, Я. В. ГРЕБНЕВ²

¹ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск

²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Российская Федерация, г. Красноярск

E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

Статья посвящена экспериментальному исследованию местных гидравлических сопротивлений в соединениях напорных пожарных рукавов. Актуальность работы обусловлена необходимостью уточнения значений гидравлических сопротивлений для расчета потерь напора в рукавных линиях. В ходе исследования предложена оригинальная схема и методика эксперимента, с помощью которой впервые в России получены значения гидравлического сопротивления для элемента из двух последовательно соединенных рукавных головок с номинальным диаметром DN50. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что вклад одного такого соединения (из двух рукавных головок номинальным диаметром DN50) в общее гидравлическое сопротивление рукавной линии достигает 12 %. На основе полученных данных создана расчетно-теоретическая модель, которая предоставляет возможность с использованием стандартных гидравлических формул рассчитывать значения гидравлических потерь при подключении напорных пожарных рукавов в любой комбинации. Это способствует точному планированию работы пожарных подразделений, оптимизации использования техники и ресурсов и, как следствие, повышению общей эффективности пожаротушения.

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

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LOCAL RESISTANCE OF FIRE CONNECTION HEADS ON HYDRAULIC PRESSURE LOSS IN SLEEVE LINES

S. O. KURTOV¹, V. P. MALY¹, Ya. V. GREBNEV²

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

²Siberian Federal University
Russian Federation, Krasnoyarsk
E-mail: kurtovsergej1983@yandex.ru

The article is devoted to the experimental study of local hydraulic resistances in the joints of pressure fire hoses. The relevance of the work is due to the need to clarify the values of hydraulic resistances for calculating the pressure loss in hose lines. The paper proposes an original scheme and experimental methodology, which for the first time in Russia obtained the values of hydraulic resistance for a section of two sequentially connected hose heads with a nominal diameter of DN50. It has been established by calculation and experiment that the contribution of one such connection (from two hose heads) to the total hydraulic resistance of the hose line reaches 12%. Based on the obtained data, a calculation and theoretical model has been created that allows, using standard hydraulic formulas, to calculate the values of hydraulic losses when connecting pressure fire hoses in any combination.

Key words: pressure fire hoses, hose connection heads, hydraulic resistance, pressure, and flow rate.

Введение

В теории гидродинамики напор (энергия потока, удельная по весу – Дж/Н), который жидкости сообщает пожарный насос, расходуется на преодоление силы трения слоев жидкости, на преодоление силы трения пристенных слоев жидкости – о шероховатости стенок напорного пожарного рукава (потери напора, или линейные потери напора), а также на потери напора в местных сопротивлениях, возникающих из-за изменения геометрии потока жидкости (сужение, расширение, изгибы). Авторы в своей работе [1] склонны считать, что значения местных гидравлических сопротивлений пожарных соединительных головок, используемых в качестве быстросмыкаемой арматуры в коммуникациях пожаротушения¹, незначительны и существенно не влияют на гидравлические потери напора в них. В работе [2] авторы на основании анализа результатов эксперимента сделали вывод о том, что с увеличением количества рукавных соединительных головок (далее – ГР) в рукавных линиях потери напора больше на 3–6 % в зависимости от расхода (в конкретно-рассмотренном авторами случае). Однако проведенный эксперимент не позволяет провести полноценный анализ по количественной оценке влияния одного соединения между собой пожарных рукавов на общее значение гидравлического сопротивления напорного пожарного рукава (далее – РПН). Из вышеизложенного следует, что вопрос учета гидравлического сопротивления ГР в полной мере до сих пор не изучен и оценка его влияния на общие потери напора является актуальной задачей.

Целью работы является совершенствование тактических расчетов рукавных линий за счет уточнения степени влияния местных сопротивлений рукавных пожарных соединительных головок на гидравлические потери напора в рукавных линиях, определенные на основе **экспериментальных исследований и** теоретического моделирования.

Методы исследования включали теоретический анализ, обработку и сравнительную оценку расчетно-теоретических и экспериментальных данных.

Основная часть

Для проведения эксперимента создали экспериментально-исследовательскую установку, обеспечивающую достоверность потока данных для расчетно-экспериментального измерения гидравлического сопротивления ГР. В её составе использовали два напорных пожарных рукава производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины (измерения проводились без наполнения РПН водой, то есть в недеформированном состоянии) с номинальным диаметром DN50. Один из двух пожарных рукавов был разделен авторами на пять отрезков (4 отрезка РПН длиной 4 м и 1 отрезок длиной 3 м) рис. 1.

На рис.1 видно, что РПН, состоящий из 5 отрезков общей длиной 19 м, отличается от целого пожарного рукава наличием 4 «дополнительных» соединений в виде пожарных рукавных соединительных головок. Измерительную часть работы выполняли на экспериментально-исследовательской установке, разработанной в Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России [3], в соответствии с представленной на рис. 2 схемой.

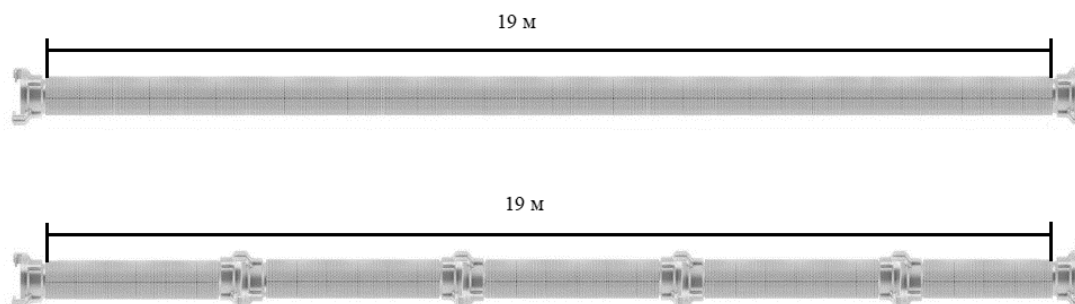


Рис. 1. Основные исследуемые фрагменты экспериментальной схемы

¹ ГОСТ Р 53279 – 2009 Техника пожарная. Головки соединительные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

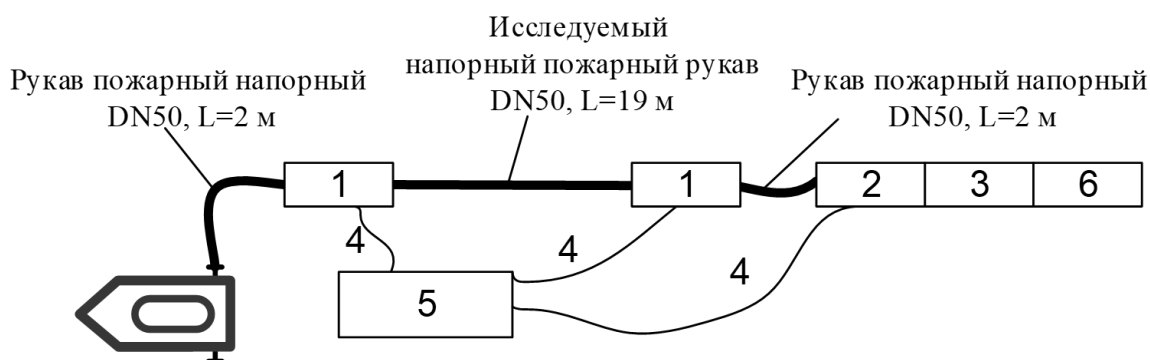


Рис. 2. Схема экспериментально-исследовательской установки для определения гидравлического сопротивления исследуемых РПН и ГР

На рис. 2 обозначено следующее оборудование, элементы, приборы:

1 – Специальная вставка, обеспечивающая возможность подключения датчиков давления на входе в исследуемый РПН и на его выходе [4];

2 – Измерительная рукавная вставка с номинальным диаметром DN80 [3];

3 – Специальное устройство, обеспечивающее безопасность для людей и техники от неконтролируемых колебаний незакрепленного конца РПН при проведении экспериментов [4];

4 – Линии передачи рабочих показаний от датчиков давления и расходомера к приемному прибору СПТ941.20 [3];

5 – Приемный прибор СПТ941.20, предназначенный для фиксации исследователями рабочих параметров средств измерения [3];

6 – Ручной пожарный ствол, предназначенный для изменения объемного количества подаваемой воды (РСКУ-70А).

Общий вид экспериментальной установки для проведения измерений представлен на фото (рис. 3).



(а)



(б)

Рис. 3. Фотографии исследовательской установки, предназначенной для практического установления гидравлических потерь в РПН и ГР с номинальным диаметром DN50: (а) – РПН длиной 19 м; (б) – РПН, состоящий из 5 отрезков общей длиной 19 м (фото авторов)

Исследование проводили при температуре окружающего воздуха +25°C и атмосферном давлении 755 – 768 мм рт. ст. Для проведения эксперимента использовали водопроводную воду с температурой +21°C, находящуюся в емкости АЦ-3,2-40/4. Воду в экспериментальную схему подавали пожарным насосом НЦПК-40/100-4/400 при работе ступени нормального давления.

Значения расхода и напора воды, полученные в результате проведенного эксперимента по определению гидравлического сопротивления РПН и РПН из 5 отрезков производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины с номинальным диаметром DN 50, приведены в таблице.

Таблица. Расчетно-экспериментальные значения гидравлических параметров, исследуемых РПН производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины с номинальным диаметром DN50

Расход воды Q_1 в системе, $м^3/ч$	Расход воды Q_1 в системе, $л/с$	Напор H_1 на входе в РПН, $м$	Напор H_2 на выходе из РПН, $м$	Величина перепада напора ΔH , $м$	Величина гидравлического сопротивления рассматриваемой рукавной системы, $(с^2/л^2) \times м$
РПН производства ПЛАМЯ «Стандарт» 19-метровой длины с номинальным диаметром DN 50					
13,84	3,84	49,0	47,3	1,7	0,115
21,60	6,00	50,0	46,0	4,0	0,111
27,60	7,67	62,5	56,0	6,5	0,110
25,10	6,97	67,2	61,2	6,0	0,124
29,70	8,25	81,8	73,6	8,2	0,121
Среднее арифметическое значение					0,116
РПН из 5 отрезков производства ПЛАМЯ «Стандарт» с номинальным диаметром DN50 и общей длиной 19 метров					
11,5	3,19	44,2	42,5	1,7	0,167
25,7	7,14	45,1	36,9	8,2	0,161
27,9	7,75	52,8	43,0	9,8	0,163
30,1	8,36	64,3	53,1	11,2	0,160
33,3	9,25	76,1	62,8	13,3	0,156
Среднее арифметическое значение					0,161

Для вычисления значений гидравлических сопротивлений, исследуемых РПН 19-метровой длины использовали методику, представленную авторами в работе [5].

Анализ среднеарифметических значений гидравлического сопротивления исследуемых РПН показал, что значение $S_{РПН}^5$ напорного пожарного рукава, выполненного из 5 отрезков, превышает значение $S_{РПН}^1$ целого РПН на 0,04 $(с^2/л^2) \times м$.

Для оценки влияния одного соединения ГР на общее гидравлическое сопротивление РПН составим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 2S_{ГР}^1 + S_{РПН} = 0,12 \\ 6S_{ГР}^1 + S_{РПН} = 0,16' \end{cases}$$

$S_{ГР}^1$ – гидравлическое сопротивление одного соединения рукавных соединительных головок с номинальным диаметром DN50, $(с^2/л^2) \times м$;

$S_{РПН}$ – гидравлическое сопротивление напорного пожарного рукава, $(с^2/л^2) \times м$.

В результате решения системы уравнений получили следующие значения:

$$\begin{aligned} S_{ГР-50}^1 &= 0,011 ((с^2/л^2) \times м), \\ S_{РПН-50} &= 0,095 ((с^2/л^2) \times м). \end{aligned}$$

Из сравнения полученных экспериментально значений $S_{ГР-50}^1$ и $S_{РПН-50}$ следует, что вклад сопротивлений ГР в общее гидравлическое сопротивление рукавной линии составляет около 12 %. Это подтверждает выдвинутую авторами гипотезу о необходимости учета значений $S_{ГР}$ в проводимых в пожарно-тактических расчетах по организации бесперебойной подачи воды на месте тушения пожара.

Для сравнения полученных расчетно-экспериментальных значений $S_{ГР}^1$ с теоретическими – составим расчетно-математическую (гидравлическую) модель двух соединенных между собой рукавных соединительных головок ГР-50 и двух РПН (рис. 4).

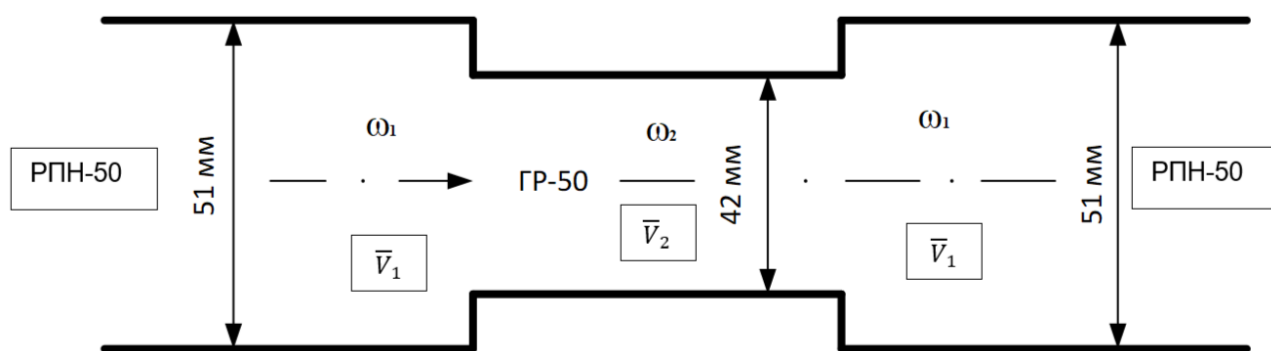


Рис. 4. Расчетно-математическая модель двух соединенных между собой РПН с использованием двух рукавных соединительных головок ГР-50

На рис. 4 можно выделить два участка с местными гидравлическими сопротивлениями:

1. Участок с внезапным сужением, когда поток жидкости из полости РПН с внутренним диаметром 51 мм попадает в полость ГР-50 с внутренним диаметром 42 мм (среднеарифметическое значение внутреннего диаметра ГР-50);

2. Участок с резким расширением при переходе потока жидкости из полости ГР-50 в полость РПН с внутренним диаметром 51 мм.

Коэффициент местного сопротивления ζ_{BC} , возникающего в результате внезапного сужения ГР-50, равен [6]:

$$\zeta_{BC} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) = 0,5 \left(1 - \frac{0,00138 \text{ м}^2}{0,00204 \text{ м}^2} \right) = 0,162;$$

ω_1 – площадь живого сечения потока жидкости в полости РПН, м²;

ω_2 – площадь живого сечения потока жидкости в полости ГР-50, м².

Коэффициент местного сопротивления ζ_{BP} , возникающего в результате внезапного расширения РПН (теорема Борда-Карно), равен [6]:

$$\zeta_{BP} = \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 = \left(1 - \frac{0,00138 \text{ м}^2}{0,00204 \text{ м}^2} \right)^2 = 0,105.$$

Общий коэффициент местных сопротивлений, возникающих в результате внезапного сужения и внезапного расширения рассчитан приближенно (пренебрегли неустановившимся характером потока из-за малой длины ГР-50) путем вычисления арифметической суммы этих коэффициентов:

$$\zeta_{ГР}^{общ} = \zeta_{BC} + \zeta_{BP} = 0,162 + 0,105 = 0,267.$$

Потери напора на местных сопротивлениях в виде двух соединенных между собой участков ГР-50 и двух РПН рассчитали по формуле:

$$H_{ГР}^{местн} = \zeta_{ГР}^{общ} \times \frac{\bar{V}_2^2}{2g} = 0,267 \times \frac{(2,78)^2}{2 \times 9,815} = 0,105 \text{ (м)}.$$

Заметим, что среднюю скорость жидкости по поперечному сечению полости ГР-50 рис. 4 определили по формуле:

$$\bar{V}_2 = \frac{Q_{экс}}{\omega_2} = \frac{0,00384 \text{ м}^3/\text{с}}{0,00138 \text{ м}^2} = 2,78 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right),$$

где $Q_{экс}$ – экспериментальное значение объемного расхода по исследуемому РПН (таблица), м³/с.

Так как РПН имеет два подобных соединения, определено значение потери напора при турбулентном режиме течения жидкости непосредственно в РПН с учетом его гидравлического сопротивления $S_{РПН}$ по следующей формуле:

$$H_{РПН} = n \times S_{РПН} \times Q^2 = 1 \times 0,1 \times 3,84^2 = 1,47 \text{ (м)}.$$

где n – число РПН при проведении натурного эксперимента, шт.;

$S_{РПН-50}$ – расчетно-экспериментальное значение гидравлического сопротивления РПН (полученное в результате решения уравнения – 0,095) без учета местных сопротивлений ГР-50, ((с/л)² × м);

Q – величина объемного расхода в исследуемом РПН, л/с (3,84 – первое значение расхода в таблице).

Общие потери напора в РПН с учетом двух местных значений потерь напора $H_{ГР}^{местн}$ определили, как их арифметическую сумму:

$$H_{РПН}^{общ} = H_{РПН} + 2H_{ГР}^{местн} = 1,47 + 0,21 = 1,68 \text{ (м)}.$$

Проведенный анализ расчетно-экспериментальных $\Delta H = 1,7$ м (таблица) и расчетно-теоретических $H_{РПН}^{общ} = 1,68$ м (с учетом предложенной авторами модели) значений потерь напора в РПН показал почти полное совпадение полученных значений, что подтверждает достоверность полученных авторами результатов.

Заключение

1. Показана актуальность темы экспериментального определения значений гидравлических сопротивлений двух соединенных между собой участков пожарных рукавных соединительных головок при прокладке напорных пожарных рукавов.

2. Предложена схема и методика экспериментального получения актуальных значений гидравлического сопротивления исследуемого участка насосно-рукавной системы.

3. Впервые в России экспериментально получены значения гидравлического

сопротивления элемента напорной рукавной линии в виде двух соединенных между собой ГР-50. Расчетно-экспериментальным способом установлено, что вклад сопротивлений двух соединенных между собой ГР в общее гидравлическое сопротивление РПН составляет около 12 %.

4. Создана расчетно-теоретическая модель соединения между собой двух ГР-50, использованная для получения расчетных значений коэффициентов гидравлических сопротивлений ГР-50. Проведенный сравнительный анализ показал удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных значений, что верифицирует предложенную модель.

5. Это создаёт возможность рассчитывать в дальнейшем по известным в гидравлике формулам значения гидравлических потерь при подключении напорных пожарных рукавов в любой комбинации.

Перспективным направлением исследований в данной области является разработка усовершенствованных расчётных моделей, учитывающих явления взаимного влияния (интерференции) близко расположенных местных сопротивлений элементов насосно-рукавных систем, применяемых для подачи воды на месте тушения пожара.

Список литературы

1. Бубнов В. Б. Разработка рекомендаций по совершенствованию методик расчета насосно-рукавных систем // Пожарная и аварийная безопасность. 2020. № 2 (17). С. 5–10. EDN: ILTQXS.

2. Двоенко О. В., Ольховский И. А. Оценка влияния головок соединительных пожарных на потери напора по длине рукавной линии // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2016. № 2 (19). С. 64–66. EDN: WBKWAJ.

3. Обоснование выбора состава экспериментально-исследовательской установки для измерения теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем / В. П. Малый, С. О. Куртов, А. С. Лунев [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 2 (54). С. 60–68. DOI: 10.25699/SSSB.2024.54.2.006.

4. Куртов С. О., Малый В. П. Повышение безопасности проведения исследований на экспериментально-исследовательской установке при проведении диагностики и контроля теплогидравлических параметров элементов насосно-рукавных систем // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33).

С. 222–231. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026. EDN: XMCTUY.

5. Куртов С. О., Малый В. П. Метод экспериментального исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов, выполненных из современных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 22–27. EDN: BFKQFL.

6. Гидравлика: учебник. Ю. Г. Абросимов, В. В. Жучков, Е. Н. Болдырев [и др.]. М.: АГПС МЧС России, 2017. 321 с.

References

1. Bubnov V. B. Razrabotka rekomendacij po sovershenstvovaniyu metodik rascheta nasosno-rukavny'x sistem [Development of recommendations for improving the methods of calculating pump-and-hose systems]. Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost', 2020, vol. 2 (17), pp. 5–10. EDN: ILTQXS.

2. Dvoenko O. V., Ol'xovskij I. A. Ocenka vliyaniya golovok soedinitel'ny'x pozharny'x na poteri napora po dline rukavnoj linii [Evaluation of the impact of connecting firefighter heads on pressure loss along the hose line]. Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii, 2016, vol. 2 (19), pp. 64–66. EDN: WBKWAJ.

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

4. Kurtov S. O., Maly`j V. P. Povy`shenie bezopasnosti provedeniya issledovaniy na e`ksperimental'no-issledovatel'skoj ustanovke pri provedenii diagnostiki i kontrolya teplogidravlicheskix parametrov e`lementov nasosno-rukavny`x system [Increase of safety of carrying out researches on the experimental-research unit at

diagnostics and control of thermal-hydraulic parameters of elements of pumping-sleeve systems]. *Sibirskij požarno-spasatel'ny`j vestnik*, 2024, vol. 2 (33), pp. 222–231. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.40.21.026. EDN: XMCTUY.

5. Kurtov S. O., Maly`j V. P. Metod e`ksperimental'nogo issledovaniya gidravlicheskogo soprotivleniya naporny`x požarny`x rukavov, vy`polnenny`x iz sovremenny`x materialov [Method of experimental study of hydraulic resistance of pressure fire hoses made of modern materials]. *Sovremennyye problemy` grazhdanskoj zashhity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 22–27. EDN: BFKQFL.

6. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics: textbook]. Yu. G. Abrosimov, V. V. Zhuchkov, Ye. N. Boldyrev [et al.]. M.: AGPS MCHS Rossii, 2017. 321 p.

Куртов Сергей Олегович

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

Kurtov Sergey Olegovich

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

Малый Виталий Петрович

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

Maly Vitaly Petrovich

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

Гребнев Ярослав Владимирович

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
Российская Федерация, г. Красноярск
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
E-mail: yaroslav.grebnev@gmail.com

Grebnev Yaroslav Vladimirovich

Siberian Federal University,
Russian Federation, Krasnoyarsk
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
E-mail: yaroslav.grebnev@gmail.com

УДК 614.842.68

DOI 10.48612/ntp/84fn-azu4-kegt

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМАТИЗИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОБ УЧЕТЕ ОПАСНОСТЕЙ ОБЪЕКТА ПОЖАРА

Е. А. МЗОКОВА

НИУ МГСУ,

Российская Федерация, г. Москва

E-mail: soprunovakate@mail.ru

Ежегодно при тушении пожаров получают травмы и гибнут сотрудники и работники Федеральной противопожарной службы МЧС России. Проведенные ранее исследования в этой области установили, что одной из причин гибели и травмирования является отсутствие или недостаточность информации об актуальном на момент пожара состоянии объекта. В статье проведен анализ нормативно-правовой базы в области пожарной безопасности по вопросам информирования подразделений Федеральной противопожарной службы МЧС России собственниками объектов защиты о пожарной опасности зданий и сооружений и произведенных изменениях и перепланировках с целью минимизации риска травмирования и гибели участников тушения пожара, а также снижения материального ущерба. Результаты данного анализа позволят определить достаточность требований в области исследования, структуру механизма, в рамках которого они представлены, а также предложить пути и способы решения в случаях, когда существующие требования не носят конкретного характера или отсутствуют. Одним из таких решений может стать создание единой базы данных учета опасностей объектов пожара. Ее основной целью будет представление необходимой информации в упрощенном формате для оперативного использования на месте пожара.

Ключевые слова: собственник объекта защиты, объект пожара, травмирование и гибель сотрудников и работников ФПС, единая база данных учета опасностей объектов пожара.

ON THE NEED TO CREATE A SYSTEMATIC DATA BASE ON THE ACCOUNTING OF FIRE HAZARDS

E. A. MZOKOVA

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)»,

Russian Federation, Moscow

E-mail: soprunovakate@mail.ru

Every year, employees and workers of the Federal Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia are injured and killed while extinguishing fires. Previous research in this area has established that one of the causes of death and injury is the lack or insufficient information about the current state of the facility at the time of the fire. This article analyzes the regulatory framework in the field of fire safety regarding the notification of units of the Federal Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the owners of the protected facility about the fire hazard of buildings and structures and the modifications and alterations made to minimize the risk of injury and death to firefighters and reduce property damage. The results of this analysis will help determine the adequacy of the requirements in the research area, the structure of the mechanism by which they are presented, and propose solutions in cases where existing requirements are vague or absent. One such solution could be the creation of a unified database for recording fire hazards, the main purpose of which will be to present the necessary information in a simplified format for prompt use at the fire scene.

Key words: the owners of the object of protection, the object of the fire, injury and death of employees and workers of the FFS, unified database for recording fire hazards.

Введение

Отсутствие актуальной систематизированной информации об опасностях объекта пожара в настоящее время является одной из главных причин травмирования и гибели на пожарах сотрудников и работников Федеральной противопожарной службы (далее – ФПС). Кроме того, это может привести к частичному или полному уничтожению имущества вследствие увеличения времени тушения пожара. Создание единой базы данных учета опасностей объектов пожара позволит минимизировать риск для личного состава пожарных подразделений, а также сократить ущерб в случае возникновения пожара.

Цели и задачи

Целью данного исследования является обоснование необходимости создания алгоритма взаимодействия собственника объекта защиты и подразделений ФПС, в рамках которого собственники будут предоставлять информацию об опасностях объекта пожара. Результатом этого взаимодействия станет создание единой базы учета особенностей объекта пожара, которая в дальнейшем будет использоваться в оперативной работе на месте тушения. Учитывая изложенное, задачами исследования являются:

1. Проведение анализа нормативных документов в области информирования пожарных подразделений собственниками объектов защиты (независимо от их организационно-правовой формы) об опасностях зданий и сооружений. В рамках анализа определить, имеются ли в законодательных актах требования по исследуемому направлению и достаточно ли этих требований.

2. Разработка алгоритма взаимодействия собственника объекта защиты с подразделениями ФПС по предоставлению соответствующей информации.

Методы

В ходе исследования применялись общенаучные и специальные методы научного познания – анализ, **обобщение**, системно-структурный, технико-юридический.

Результаты и обсуждения

Основу исследования составил анализ нормативных документов по пожарной безопасности. Его цель – установить содержатся ли в них требования к собственникам объектов защиты об информировании подразделений ФПС об опасностях объекта пожара. Кроме того, проведен сравнительный анализ статистических

данных обстановки с пожарами по классам функциональной пожарной опасности объектов с учетом количества пожаров, величины материального ущерба и количества погибших на пожарах.

Выводы. На основании проведенного в исследовании анализа предложено:

1. Внести в руководящие документы дополнительный пункт, обязывающий собственников предоставлять информацию об объекте.

2. Провести анализ системы взаимодействия органов Государственного пожарного надзора с подразделениями противопожарной службы в части предоставления уже имеющейся информации по объектам защиты.

Основная часть

При осуществлении работы на пожаре на сотрудников и работников ФПС оказывают влияние как опасные, так и вредные производственные факторы, что в свою очередь может привести к травмированию, гибели или развитию заболеваний. Часть их них непосредственно связана с состоянием объекта до возникновения пожара. Проведенный анализ нормативной базы в области нормирования пожарной безопасности объектов позволил выявить такие факторы [1, 2]. Согласно разработанной в указанных исследованиях классификации опасностей объекта пожара для участников боевых действий по тушению пожара можно оценить степень социального пожарного риска и степень обоснованного пожарного риска. При анализе нормативных документов по пожарной безопасности (в части порядка предоставления юридическими лицами любой организационно-правовой формы информации о состоянии зданий и сооружений) необходимо учитывать выявленные факторы. На основании проведенного анализа следует внести предложения по разработке нормативных положений в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты. Цель таких положений – предотвратить воздействие опасных факторов пожара на участников тушения путем их информирования о соответствующих рисках при выполнении основной боевой задачи.

Основным законом, определяющим основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации и регулирующим отношения между государственными органами различных уровней власти, организациями всех форм собственности и гражданами, является Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности»¹. Согласно

¹ О пожарной безопасности: Федер. закон [принят Гос. Думой 21.12.1994] // Собрание законодательства РФ. 1994. № 35, Ст. 3649.

данному закону, ФПС информирует собственников о рисках возникновения пожара посредством обучения сотрудников организаций мерам пожарной безопасности. Федеральным законом от 29.12.2022 N 606-ФЗ² введено понятие крайней необходимости, которое ограничивает возможность привлечения личного состава подразделений, задействованных в тушении пожара, к дисциплинарной или гражданско-правовой ответственности – при условии, что материальный ущерб был причинен в результате их оправданных действий. Кроме того, с учетом оперативной обстановки на объекте руководитель тушения пожара вправе принять решение об ограничении прав должностных лиц. Эти нормы позволяют минимизировать риски для жизни и здоровья сотрудников и работников ФПС [3]. В свою очередь закон возлагает ответственность за обеспечение пожарной безопасности и предотвращение пожаров (в том числе посредством профилактики) на лиц, занимающих руководящие должности, а также на специалистов, которые приказом назначены на выполнение этих задач. К обязанностям собственников объектов защиты относятся:

- разработка и реализация мер пожарной безопасности;
- предоставление информации по запросу сотрудников Государственного пожарного надзора (далее – ГПН) о состоянии пожарной безопасности.

При этом статья 37 Федерального закона «О пожарной безопасности»¹ определяет права и обязанности организаций в области пожарной безопасности, однако не содержит положений об информировании пожарных подразделений. Следовательно, отсутствуют четкие требования к составу информации, подлежащей предоставлению в подразделения пожарной охраны [4, 5]. Более того, в системе пожарной охраны не налажен механизм учета получаемых сведений, а именно отсутствует систематизированная база данных, и как следствие не определены должностные лица, ответственные за сбор, учет и представление информации руководителям пожарных подразделений для оперативного использования при выполнении основной боевой задачи.

Взаимодействие собственников объектов защиты с органами ГПН по вопросам обеспечения пожарной безопасности, включая представление информации об объекте защиты, осуществляется в установленном порядке. Однако статья 37 Федерального закона Российской Федерации от 31 июля 2020 № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации»³ ограничивает объем запрашиваемой информации об объекте в рамках задач, определенных данным исследованием.

Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»⁴ в статье 64 предусматривает обязанность собственников объектов защиты с классами функциональной пожарной опасности Ф 1.1, Ф 4.1, Ф 4.2 предоставлять декларацию пожарной безопасности. При этом собственники объектов, не входящих в указанный перечень, вправе подать декларацию в добровольном порядке. Согласно проекту Административного регламента МЧС России по предоставлению государственной услуги «Регистрация деклараций пожарной безопасности»⁵, новая декларация позволит инспекторам получить перечень сведений, необходимых для определения категории риска объекта надзора. Однако существующий порядок имеет ряд ограничений с точки зрения целей данного исследования:

- обязанность предоставления декларации не распространяется на все объекты независимо от организационно-правовой формы;
- содержание декларации пожарной безопасности в большей степени ориентировано на нужды ГПН;
- документ содержит значительное количество ссылок на нормативные акты;
- форма декларации сложна для восприятия в условиях пожара или иных аварийных ситуаций.

В связи с этим возникает необходимость разработки единой формы представления данных об объекте. Создание единой базы данных учета опасностей объектов пожара позволит свести к минимуму количество травм, погибших и профессиональных заболеваний. Это

² О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон [принят Гос. Думой 29.12.2022] // Собрание законодательства РФ. 2023. № 1, Ст. 53 (Часть I)

³ О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федер. закон [принят Гос. Думой 31.07. 2020] // Собрание законодательства РФ. 2008. 2020. № 31, Ст. 5007 (Часть I)

⁴ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон [принят Гос. Думой

22.07.2008] // Собрание законодательства РФ. 2008. № 30, Ст. 3579 (Часть I)

⁵ Об утверждении административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по предоставлению государственной услуги «Регистрация деклараций пожарной безопасности»: проект Приказа МЧС России // Федеральный портал проектов нормативных правовых актов. 22.10.2025.

произойдет за счет сокращения времени воздействия на организм физических, химических, биологических и психофизиологических факторов [1, 2]. Также это приведет к сокращению расходов на оплату по страховым гарантиям и выплаты в целях возмещения вреда, причиненного в связи с выполнением служебных обязанностей. Для этого требуется органам государственной власти внести изменения в законодательные акты, регулировать правоотношения в сфере обеспечения пожарной безопасности, установить четкий порядок предоставления сведений для включения в единую базу данных [2, 6].

В таблице приведены данные по общему количеству пожаров на объектах, относящихся к классам функциональной пожарной опасности Ф 1.1, Ф 4.1, Ф 4.2, а также по материальному ущербу, причиненному пожарами, и количество погибших за период с 2020 по 2024 год включительно⁶. Кроме того, таблица содержит аналогичные показатели для остальных зданий и сооружений. Сравнительный анализ этих данных выявляет прямую взаимосвязь между количеством пожаров, материальным ущербом и числом погибших на пожаре, и количеством объектов, для которых представление декларации пожарной безопасности не является обязательным.

Таблица. Основные показатели обстановки с пожарами за 2020-2024 гг. по видам объектов пожаров

Объект пожара <i>Fire object</i>	Количество пожаров, ед. <i>Number of fires, units</i>				
	Прямой материальный ущерб, тыс. руб. <i>Direct material damage, thousand rubles</i>				
	Погибло, чел. <i>Died, people</i>				
	2020	2021	2022	2023	2024
Здания функциональной пожарной опасности Ф 1.1, Ф 4.1, Ф 4.2 <i>Buildings of functional fire hazard categories F 1.1, F 4.1, F 4.2.</i>	559	630	619	572	634
	58919	145 142	132 098	129 135,3	56 361
	37	16	12	4	6
Остальные здания и сооружения <i>Other buildings and structures</i>	13948	14328	13288	12742	12798
	10066560	8450665	8146828	11743769	8086722
	193	231	174	210	208

Примечание: для данного исследования была произведена выборка объектов из информационно-аналитических сборников по пожарам и пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России в период с 2020 по 2024 гг., с целью исключить только те из них, на которые по тем или иным причинам невозможно получить информацию о состоянии объекта ввиду определенных факторов, например «бесхозное здание, сооружение».

Таким образом, несмотря на то, что Кодекс об административных правонарушениях Российской Федерации⁷ в статье 20.4 и Уголовный кодекс Российской Федерации⁸ в статье 219 устанавливают различного виды ответственности за несоблюдение требований пожарной безопасности, повлекшее по неосторожности травму или гибель человека, а также полное или частичное уничтожение имущества, многие собственники объектов защиты и ответственные лица в области пожарной безопасности не считают необходимым сообщать о мероприятиях по обеспечению пожарной безопасности, и информировать о перепланировках помещений, осуществленных после проверки сотрудниками ГПН. Основная причина заключается в отсутствии на федеральном уровне

конкретного алгоритма, обязывающего собственников объектов защиты предоставлять такого рода информацию.

Выводы

Отсутствие механизма контроля за соблюдением обязательных требований пожарной безопасности в части информирования подразделений ФПС о состоянии зданий и сооружений, установленных различными законодательными актами, является одной из причин травмирования и гибели сотрудников и работников ФПС при тушении пожаров. Зачастую, подразделения, осуществляющие тушение пожаров, узнают о нарушениях требований пожарной безопасности на объекте по факту его

⁶ Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информационно-аналитический сборник / А. А. Козлов, П. В. Полехин, М. В. Шевцов [и др.]. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.

⁷ Кодекс об административных правонарушениях Российской Федерации // Собрание законодательства РФ. 2002. № 1. Ст. 1

⁸ Уголовный кодекс Российской Федерации // Собрание законодательства РФ. 1996. № 25. Ст. 2954

возникновения или при дальнейшем разборе пожара. В связи с этим необходимо:

1. Обязать собственников предприятий любой формы собственности периодически отчитываться о мероприятиях по обеспечению пожарной безопасности.

2. Разъяснить собственникам, что отказ в предоставлении соответствующей информации дает пожарным подразделениям право осуществлять тушение пожара на предприятии с применением всех возможных мер предосторожностей [2, 7].

3. Для решения этого вопроса на основании анализа законодательных актов предлагается внести изменения в действующее законодательство. В частности, дополнить их пунктом, закрепляющим обязанность собственников предоставлять информацию об объекте.

Разработка алгоритма получения от собственника объекта защиты данных о его противопожарном состоянии, а также разработка рекомендаций по созданию единой базы данных учета опасностей объектов пожара – задача, требующая комплексного подхода. Предварительный вариант такого алгоритма представлен на рисунке. После определения структуры предлагаемой базы данных станет возможным:

- назначить подразделения, ответственные за ее ведение;
- выработать механизм получения и учета данных;
- разработать форму представления информации подразделениям пожаротушения для оперативного использования на пожарах.

В дальнейшем планируется:

- проанализировать какие именно подразделения ФПС могут наиболее эффективно заниматься данным вопросом;
- внести соответствующие изменения в должностные инструкции сотрудников;
- организовать проведение консультаций по предоставлению необходимых сведений на основе разработанных в последующем рекомендаций.

Список литературы

1. Мзюкова Е. А., Ищенко А. Д., Вотченко И. А. Обоснование совершенствования системы информирования участников тушения пожара о существующем риске при выполнении основной боевой задачи // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (86). 2019. С. 96–103. DOI: 10.25257/TTS.2019.4.86.96-103. <https://www.elibrary.ru/AHOAYZ>
2. Мзюкова Е. А., Ищенко А. Д. О создании системы классификации опасностей объекта пожара для сотрудников и работников ФПС // Современные проблемы гражданской

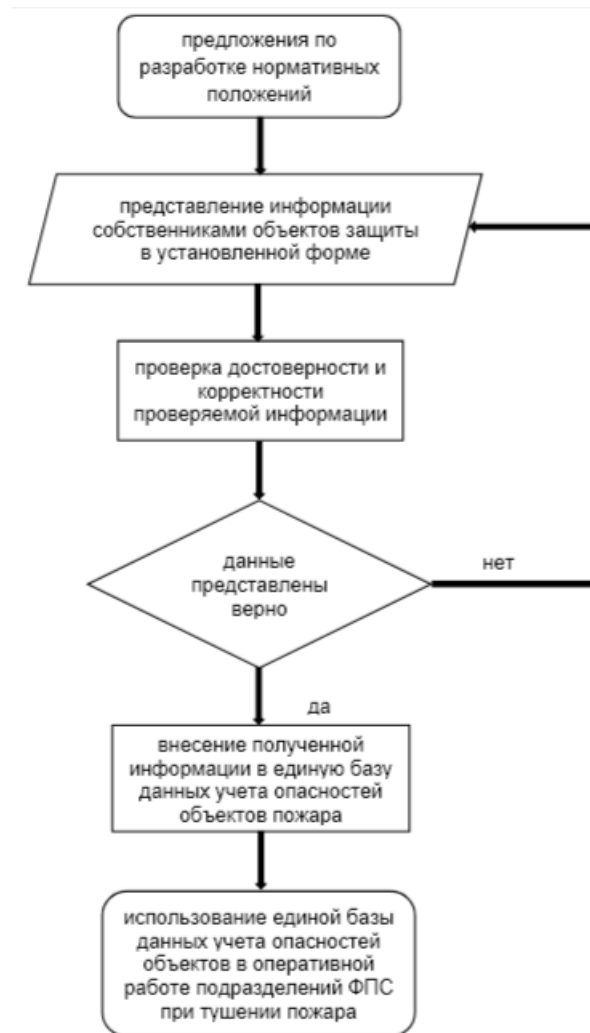


Рисунок. Алгоритм представления и учета информации для формирования единой базы данных учета опасностей объекта пожара

защиты. 2024. № 3 (52). С. 30–38. <https://www.elibrary.ru/HVUOBB>

3. Андросенко. С. Г. Современные проблемы правового регулирования отношений в области обучения мерам пожарной безопасности работников организаций // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 4 (94). С. 96–104. DOI: 10.25257/TTS.2021.4.94.96-104. <https://www.elibrary.ru/FHQSD>

4. Анализ нормативных правовых положений в области обеспечения пожарной безопасности организаций / О. С. Маторина, Е. Ю. Удавцова, Е. С. Трещин [и др.] // Естественные и

технические науки. 2024. № 12 (199). С. 369–374. <https://www.elibrary.ru/XXTUND>

5. Фабер. В. В. О теоретических основах работы по обеспечению пожарной безопасности в организациях и об отдельных проблемах, связанных с ее практическим проведением // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 478–489. <https://www.elibrary.ru/WZNVJB>

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

7. Андросенко С. Г. Правовое регулирование некоторых задач управления при организации пожаротушения // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2017. № 1. С. 56–60. DOI: 10.25257/FE.2017.1.56-60. <https://www.elibrary.ru/ZFKDUD>

References

1. Mzokova E. A., Ischenko A. D., Votchenko I. A. Obosnovanie sovershenstvovaniya sistemy informirovaniya uchastnikov tusheniya pozhara o sushchestvuyushchem riske pri vypolnenii osnovnoy boevoy zadachi [Rationale for improving the system of informing participants of fire extinguishing about the existing risk when performing the main combat task] *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2019, vol. 4 (86), pp. 96–103. DOI: 10.25257/TTS.2019.4.86.96-103.

2. Mzokova E. A., Ishhenko A. D. O sozdaniy sistemy klassifikatsii opasnostey ob'ekta pozhara dlya sotrudnikov i rabotnikov FPS [On the creation of a system for classifying fire hazards for employees and workers of the Federal Fire Service]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashhity*, 2024, vol. 3 (52), pp. 30–38. <https://www.elibrary.ru/HVUOBB>

3. Androsenko. S. G. Sovremennyye problemy pravovogo regulirovaniya otnoshenij v

oblasti obucheniya meram pozharnej bezopasnosti rabotnikov organizatsij [Modern problems of legal regulation of relations in the field of training employees of organizations in fire safety measures]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2021, vol. 4 (94), pp. 96–104. DOI: 10.25257/TTS.2021.4.94.96-104. <https://www.elibrary.ru/FHQSDE>

4. Analiz normativnykh pravovykh polozhenij v oblasti obespecheniya pozharnej bezopasnosti organizatsij [Analysis of regulatory legal provisions in the field of fire safety of organizations] / O. S. Matorina, E. Yu. Udavczova, E. S. Treshhin [et al.]. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*, 2024, vol. 12 (199), pp. 369–374. <https://www.elibrary.ru/XXTUND>

5. Faber. V. V. O teoreticheskikh osnovakh raboty po obespecheniyu pozharnej bezopasnosti v organizatsiyakh i ob otdel'nykh problemakh, svyazannykh s yeye prakticheskim provedeniyem [On the theoretical foundations of work to ensure fire safety in organizations and on individual problems associated with its practical implementation]. *Sovremennyye požarobezopasnyye materialy i tekhnologii: sbornik materialov VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya požarno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024. Pp. 478–489. <https://www.elibrary.ru/WZNVJB>

6. Ocenka urovnya pozharnej opasnosti ekspluatiruemykh zdaniy (sooruzhenij) s uchetom klassa funkcional'noj pozharnej opasnosti za 2017-2020 gody [Assessment of the fire hazard level of buildings (structures) in operation, taking into account the functional fire hazard class for 2017-2020] / V. V. Harin, E. V. Bobrinev, A. A. Kondashov [et al.]. *Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnnykh sistem*, 2022, issue 2, pp. 43–48. <https://www.elibrary.ru/ZYNENY>

7. Androsenko S. G. Pravovoe regulirovanie nekotorykh zadach upravleniya pri organizatsii požarotusheniya [Legal regulation of some management tasks in the organization of firefighting] *Pozhary i chrezvychajnye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*, 2017, issue 1, pp. 56–60. DOI: 10.25257/FE.2017.1.56-60. <https://www.elibrary.ru/ZFKDUD>

Мзокова Екатерина Александровна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Российская Федерация, Москва

старший преподаватель

E-mail: soprunovakate@mail.ru

Mzokova Ekaterina Alexandrovna

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)»

Russian Federation, Moscow

Senior lecturer

E-mail: soprunovakate@mail.ru

УДК 614.839

DOI 10.48612/ntp/rxhh-b8g9-gke7

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ПОЖАРЕ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В. И. ПОПОВ, А. Н. ПЕСИКИН, А. Х. САЛИХОВА, Д. В. СОРОКИН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: Popovwi 49@mail.ru, apesikin @ bk.ru, salina_77@mail.ru, element_37@mail.ru

При пожаре в животноводческих помещениях возникает проблема эвакуации животных и птиц. В нормативных правовых актах в области пожарной безопасности предусмотрено выполнение Планов эвакуации животных для цирков и зоопарков, а для животноводческих объектов сельскохозяйственной отрасли требуется только составление инструкции для обслуживающего персонала по выводу животных в случае возникновения пожара. Поэтому актуальным вопросом является обоснование целесообразности разработки Планов эвакуации животных при пожаре для животноводческих и птицеводческих ферм.

Ключевые слова: животноводческие здания, пожар, эвакуация животных, план эвакуации.

THE PROBLEM OF ENSURING ANIMAL SAFETY DURING FIRES IN LIVESTOCK PREMISES

V. I. POPOV, A. N. PESIKIN, A. Kh. SALIKHOVA, D. V. SOROKIN

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: Popovwi 49@mail.ru, apesikin @ bk.ru, salina_77@mail.ru, element_37@mail.ru

In the event of a fire in livestock buildings, the problem of evacuating animals and birds arises. Fire safety regulations only require the implementation of Animal Evacuation Plans for circuses and zoos, while livestock facilities in the agricultural sector only require the preparation of instructions for maintenance personnel on how to evacuate animals in the event of a fire. Therefore, a pressing issue is the justification for the feasibility of developing Animal Evacuation Plans for livestock and poultry farms. Key words: livestock buildings, fire, animal evacuation, evacuation plan.

Ключевые слова: livestock buildings, fire, animal evacuation, evacuation plan.

Введение

Животных содержат в домашних условиях (в квартирах, индивидуальных домах). Такие животные согласно федеральному закону от 27.12.2018 г. № 498-ФЗ¹ относятся к домашним животным. Предельное количество домашних животных в местах содержания определяется исходя из возможности владельца обеспечивать животным условия, соответствующие ветеринарным нормам и правилам, а также с учетом соблюдения санитарно-эпидемиологических правил и нормативов.

Животных содержат в личных подсобных хозяйствах. Коров, лошадей, овец или коз можно содержать только на участке с видом разрешенного использования «Для ведения личного подсобного хозяйства», согласно федеральному закону от 21.06.2003 г. № 112-ФЗ² «О личном подсобном хозяйстве». Количество животных определяется требованиями к условиям содержания в личных подсобных хозяйствах Ветеринарными правилами³. Например, для крупного рогатого скота при расстоянии от животноводческого помещения до границы

© Попов В. И., Песикин А. Н., Салихова А. Х., Сорокин Д. В., 2025

¹ Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

² Федеральный закон от 21.06.2003 г. № 112-ФЗ «О личном подсобном хозяйстве»,

³ Ветеринарные правила содержания крупного рогатого скота в целях воспроизводства, выращивания и реализации, утвержденных приказом Минсельхоза России от 13 декабря 2016 года № 551.

соседнего участка в 10 м допускается содержать не более 5 голов.

Требования к сооружениям для животноводческих, птицеводческих и звероводческих предприятий установлены в СП 289.1325800.2017⁴.

Сельскохозяйственное производство, обеспечивающее продовольственную безопасность, является одной из важных отраслей экономики Российской Федерации. К важным и наиболее пожароопасным объектам сельского хозяйства относятся животноводческие, звероводческие и птицеводческие фермерские хозяйства.

Поголовье скота в России составляло (на конец 2024 года)⁵:

- крупный рогатый скот – 16,4 млн голов;
- коровы – 7,3 млн голов;
- свиньи – 27,8 млн голов;
- овцы и козы – 19,2 млн голов;
- птица – 556 млн голов.

В последние годы в животноводство пришли цифровые технологии, технологии с использованием искусственного интеллекта, роботизированные системы.

Актуальными являются вопросы обеспечения пожарной безопасности животноводческих, звероводческих и птицеводческих

объектов. Особую проблему составляет опасность животных при пожаре в зданиях ферм.

Безопасность животных при пожаре

Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения классифицируются по виду содержащихся в них животных, птицы и зверей согласно СП 374.1325800.2018⁶:

- крупного рогатого скота;
- свиней;
- овец;
- коз;
- лошадей;
- верблюдов;
- птицы разных видов;
- кроликов;
- зверей разных видов.

В последние годы появляются животноводческие и птицеводческие хозяйства с экзотическими животными. В России создаются страусовые фермы. На фото рис. 1 страусовая ферма «Шартомский страус» в Ивановской области. Кроме страусов на фермерских и личных хозяйствах выращивают буйволов, лосей, крокодилов, улиток, лягушек и других животных.



Рис. 1. Страусиная ферма «Шартомский страус»

Современные фермерские хозяйства кроме различных зданий для содержания животных и птиц включают много вспомогательных зданий и сооружений, технологически связанных с производством животноводческой продукции.

Так, например, здания и помещения для овец различаются в зависимости от их назначения (СП 374.1325800.2018)²:

- баранник;
- овчарня для содержания маток при ручной случке;

⁴ СП 289.1325800.2017 Сооружения животноводческих, птицеводческих и звероводческих предприятий. Правила проектирования.

⁵ Сельское хозяйство в России: тенденции развития, проблемы, сценарии. [https://delprof.ru/press-](https://delprof.ru/press-center/open-analytics/selskoe-khozyaystvo-v-rossii-tendentsii-razvitiya-problemy-stsenarii/#:~:text=(дата%20обращения%2024.10.2025).)

[center/open-analytics/selskoe-khozyaystvo-v-rossii-tendentsii-razvitiya-problemy-stsenarii/#:~:text=\(дата обращения 24.10.2025\).](https://delprof.ru/press-center/open-analytics/selskoe-khozyaystvo-v-rossii-tendentsii-razvitiya-problemy-stsenarii/#:~:text=(дата%20обращения%2024.10.2025).)

⁶ СП 374.1325800.2018 Здания и помещения животноводческие, птицеводческие и звероводческие.

- овчарня для ягнения маток при циклическом осеменении;
 - овчарня для содержания маток с ягнятами (при циклическом осеменении);
 - овчарня для ягнения маток и раздельно-контактного выращивания ягнят;
 - цех искусственного выращивания и откорма ягнят;
 - овчарня для содержания ремонтного молодняка;
 - трехстенный навес с тепляком для ягнения маток;
 - баз-навес, катон.
- Подсобные помещения и здания для овцеводческих ферм включают:
- кормоприготовительные (кормоцех);
 - здания и сооружения ветеринарного назначения;
 - автовесовая;
 - эстакада для погрузки;
 - сооружения водоснабжения и электроснабжения;
 - раскол для бонитировки овец;
 - пункт зооветеринарной обработки овец;
 - пожарный пост;
 - площадки и навесы для средств механизации;
 - навес для рабочих лошадей;
 - пункт технического обслуживания и др.

Наличие на фермерских хозяйствах различных зданий и сооружений представляет собой значительную пожарную опасность. Особую опасность представляют помещения содержания животных. В помещениях может находиться большое количество животных, составляющих несколько тысяч (птичники, помещения содержания свиней и овец и др.). Пожары на объектах животноводства происходят достаточно часто и практически все сопровождаются гибелью животных. Вот некоторые примеры:

2 ноября 2023 г. – пожар на животноводческой ферме в Агаповском районе (Челябинская область) – погибли 250 голов свиней и 10 телят;

29 ноября 2023 г. – пожар в строении для содержания домашнего скота в Забайкалье – погибли 260 овец, 37 коз и корова.

15 декабря 2023 г. – пожар на животноводческой ферме в селе Нижний Куюк Атинского района Республики Татарстан – погибли 25 телят.

23 января 2024 г. – пожар на животноводческой ферме в поселке Орловка Ставропольского края – погибли 10 свиней;

18 мая 2024 г. – пожар на ферме в деревне Федотово в Пермском крае – эвакуировано 170 коров, погибли 10 голов крупного рогатого скота;

26 ноября 2024 г. – пожар на ферме с животными в Серпухове – спасено 100 голов крупнорогатого скота;

22 января 2025 г. – пожар на животноводческой ферме в деревне Малахи в Великолукском районе – спасено более 200 животных;

22 февраля 2025 – пожар на животноводческой ферме в станице Подгорной Георгиевского округа Ставрополя – спасено 50 голов крупного рогатого скота.

15 мая 2025 г. – пожар на птицефабрике «Владимировская» в Ахтубинском районе Астраханской области – погибли 166 тысяч кур.

Одним из резонансных пожаров в животноводческой отрасли за последние годы стал пожар на свиноподкомплексе в селе Александровка Омской области, произошедший 5 сентября 2023 г. В крупном крестьянско-фермерском хозяйстве сгорело два из трех существующих корпусов, погибли почти все находившиеся на ферме свиньи – примерно 4,5 тысячи голов.

Такие пожары происходят довольно часто. Примеры пожаров с большим количеством погибших животных свидетельствуют о проблеме обеспечения их безопасной эвакуации из горящих зданий, помещений.

Вопросами обеспечения безопасности животных при пожаре в 70 годах прошлого века занимался Е. Т. Шурин. Шурин Е. Т. защитил диссертацию на тему «Исследования по обеспечению безопасной эвакуации животных при пожаре в зданиях животноводческих комплексов», был написан ряд статей, разработаны рекомендации. Автор отмечает важность разработки планов эвакуации. В системе организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности животноводческих ферм важное место принадлежит планам эвакуации животных на случай возникновения пожара. В текстовой части планов необходимо четко изложить порядок оповещения о пожаре и вызова пожарных подразделений, действия обслуживающего персонала по эвакуации животных и тушению пожара. План эвакуации животных регулярно (не реже 2 раз в год) предлагалось отрабатывать [1].

План эвакуации периодически должен отрабатываться. При этом появляются навыки у обслуживающего персонала объектов. Так при пожаре в Саратовском цирке 10 августа 2021 года из-под купола здания очевидцы увидели густой черный дым, возникла угроза безопасности животных. «Персонал цирка работал очень быстро и спокойно, несмотря на то, что помещения уже были задымлены. Из стационарных вольеров дрессировщики загоняли львов и собак, попугаев в передвижные клетки.

Животные держались спокойно, будто понимали всю серьезность ситуации. Один только лев метался по клетке и скалился»⁷.

В настоящее время согласно п. 93 Постановления Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации»⁸ предусмотрена разработка Плана эвакуации только животных из цирка (зоопарка и др.). Для животноводческих зданий и сооружений в соответствии с п. 174 Правил противопожарного режима в Российской Федерации «Для каждого отдельного помещения скотного двора должна быть составлена инструкция для обслуживающего персонала по выводу животных в случае возникновения пожара. Инструкция должна вывешиваться в помещениях скотного двора на видном месте

и весь обслуживающий персонал должен быть с ней ознакомлен».

К сожалению, Планы эвакуации животных разрабатываются по образцу, указанному в ГОСТ Р 12.2.143-2002⁹ как и для людей (рис. 2). При этом планы не имеют необходимого значения для обеспечения безопасности животных при пожаре¹⁰ [2].

Пример разработанного плана эвакуации животных из помещений цирка при пожаре представлен на рис. 3. В представленном Плане, как и в образце ГОСТ Р 12.2.143-2002, не указаны конкретные лица ответственные за выполнение мероприятий, не указаны место, куда необходимо направлять животных при эвакуации, особенности и порядок эвакуации животных или птиц.

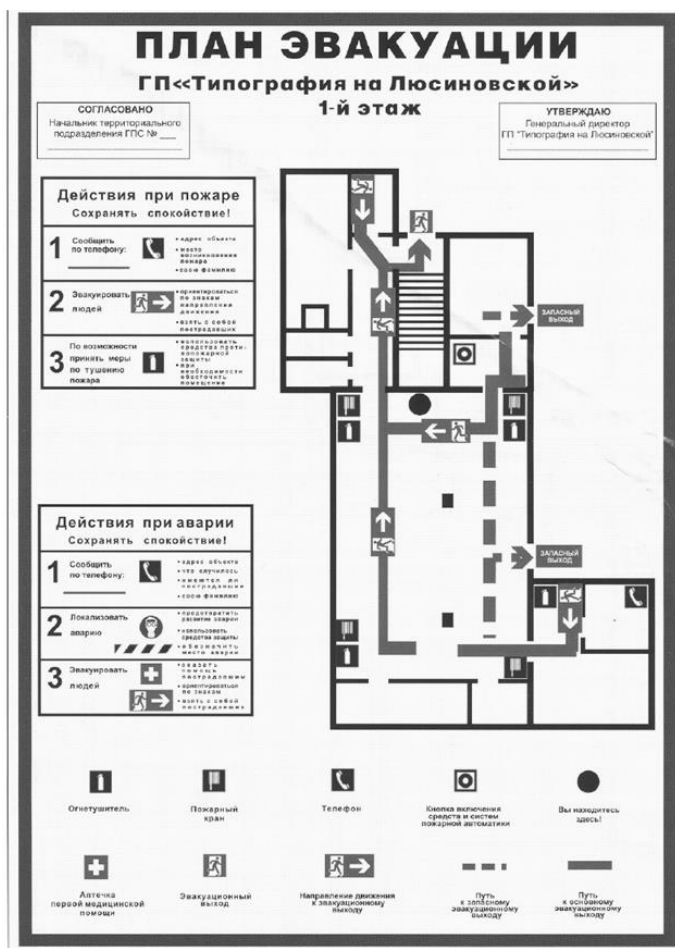


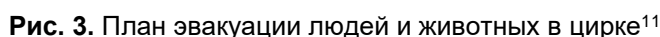
Рис. 2. Образец Плана эвакуации в ГОСТ Р 12.2.143-2002

⁷ Пожар в цирке: «лев метался по клетке и скалился». <https://dzen.ru/mchsrussia> (дата обращения 25.10.2025).

⁸ Постановления Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации».

⁹ ГОСТ Р 12.2.143-2002 ССБТ Системы фотолюминесцентные эвакуационные. Элементы систем. Классификация. Общие технические требования. Методы контроля.

¹⁰ Попов В.И. Зачем нужны планы эвакуации на животноводческих объектах? <https://portal.edufire37.ru/articles/890> Дата обращения 20.10.2025).



54

Для животноводческих, птицеводческих и звероводческих зданий и сооружений задача разработки Плана эвакуации и нормативное обоснование его необходимости в разы важнее, так как требуется обеспечить эвакуацию и персонала, и животных. Исходя из особенностей процессов, осуществляемых в зданиях с животными, Планы эвакуации животных и птиц при

пожаре должны содержать информацию об особенностях эвакуации с учетом способа их передвижения, поведения в условиях опасности. Требования к разработке и содержанию Планов эвакуации животных при пожаре предлагается реализовать в форме национального стандарта.

Список литературы

1. Шурин Е. Т. Пожарная безопасность на животноводческих фермах. М.: Колос, 1984. 63 с.
2. Открытые автостоянки: проблемы обеспечения пожарной безопасности / А. Н. Песикин, В. И. Попов, М. В. Пуганов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 1 (50). С. 92-98.

References

1. Shurin E. T. Pozharnaya bezopasnost' na zhivotnovodcheskih fermah. M.: Kolos, 1984. 63 p.
2. Otkrytye avtostoyanki: problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti [Open Parking Lots: Fire Safety Issues] / A. N. Pesikin, V. I. Popov, M. V. Puganov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 1 (50), p. 92–98.

Попов Владимир Иванович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: Popovwi49@mail.ru.

Popov Vladimir Ivanovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, docent
E-mail: Popovwi 49@mail.ru.

Песикин Александр Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель
E-mail: apesikin@bk.ru

Pesikin Alexander Nikolaevich

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

Салихова Аниса Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, docent.

E-mail: salina_77@mail.ru

Сорокин Дмитрий Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры

Sorokin Dmitry 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

candidate of technical sciences, Deputy Head of the Department

E-mail: element_37@mail.ru

УДК 614.841

DOI 10.48612/ntp/a1z6-x9mt-f4rh

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПРИ ФИКСАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ДИНАМИКИ ПРИРОДНОГО ПОЖАРА

А. О. СЕМЕНОВ, Д. В. КАЛАШНИКОВ, А. Г. БУБНОВ, Л. Б. ТИХАНОВСКАЯ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: kalashnikovdv33@gmail.com

Определение направления развития и динамика природного пожара необходимы для установления места, в котором возникло первоначальное горение. В настоящее время обнаружение природного пожара не обходится без использования средств мониторинга. Комплексное использование различных методов обеспечивает своевременное обнаружение горения на начальных этапах. Эти методы мониторинга позволяют непрерывно наблюдать за развитием пожара с фиксированием его характеристик, которые могут быть использованы в экспертной деятельности по исследованию причин его возникновения.

В работе рассмотрены современные функциональные возможности методов и средств комплексной системы мониторинга, результаты которых задействованы при определении причины возникновения пожара. Сформулировано авторское понятие комплексной системы мониторинга. Рассмотрены возможности комплексной системы мониторинга для фиксации направления развития и динамики природных пожаров, используемые в пожарно-технической экспертизе. Проведена оценка использования комплексной системы мониторинга в практической деятельности ведомств, занимающихся вопросами расследования лесных пожаров. На практическом примере проанализированы современные функции системы космического мониторинга для получения информации о пожаре, применяемой экспертами для исследования механизма его развития и определения технической причины. Разработан алгоритм изучения характеристик природного пожара для использования в практической деятельности судебно-экспертных учреждений, которые решают задачи по установлению причин возникновения пожара.

Ключевые слова: мониторинг природных пожаров, экспертное исследование, динамика, очаг пожара, комплексная система мониторинга.

THE USE OF MONITORING SYSTEMS FOR RECORDING THE DIRECTION OF DEVELOPMENT AND DYNAMICS OF A WILDFIRE

A. O. SEMENOV, D. V. KALASHNIKOV, A. G. BUBNOV, L. B. TIKHANOVSKAYA

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 direction of development and dynamics of a wildfire are necessary to establish the location where the initial combustion occurred. Currently, the detection of a natural fire is not complete without the use of monitoring tools. The complex use of various methods ensures timely detection of combustion at the initial stages. Various monitoring methods make it possible to continuously monitor the development of a fire with the recording of its characteristics, which can be used in expert activities to investigate the causes of its occurrence.

The paper considers the modern functionality of the methods and tools of an integrated monitoring system, the results of which are involved in determining the cause of a fire. The author's concept of an integrated monitoring system is formulated. The possibilities of an integrated monitoring system for recording the direction of development and dynamics of wildfires used in fire technical expertise are considered. An assessment of the use of an integrated monitoring system in the practical activities of agencies involved in the investigation of forest fires has been carried out. Using a practical example, modern functions of the space monitoring system are analyzed to obtain information about a fire, used by experts to study the mechanism of

its development and determine the technical cause. An algorithm has been developed for studying the characteristics of a natural fire for use in the practical activities of forensic institutions that solve problems of determining the causes of a fire.

Key words: wildfire monitoring, expert research, dynamics, fire source, integrated monitoring system.

Введение

Анализ примеров возникновения различных природных пожаров показал, что возгорание имеет быстрое развитие за ограниченный промежуток времени в условиях наличия достаточного количества легковозгораемых лесных материалов. При этом в определенные отрезки времени не исключается изменение направления развития и динамики природного пожара, которое связано с изменениями погодных условий и вовлечением в горение горючих лесных материалов [1].

Информация о направлении развития и динамики природного пожара используется в обязательном порядке в ходе экспертного исследования при определении места первоначального возникновения горения. Особенность исследования природных пожаров заключается в невозможности определить очаг пожара, как конкретную точку взаимодействия источника зажигания с горючим материалом. В связи с этим, решающее значение для определения зоны места первоначального возникновения горения имеют сведения о границах обнаруженной площади горения на начальном этапе развития пожара, её привязке к местности, направлении развития и динамике горения в различные периоды времени. Эти данные формируются путём применения различных средств мониторинга, которые впоследствии изучаются экспертами в ходе решения экспертной задачи. Решение экспертных задач должно осуществляться с применением специальных знаний и использованием современных технических средств. С этой целью могут применяться современные средства комплексной системы мониторинга, которые позволяют не только обнаружить зону очага пожара на начальном этапе его развития, но и зафиксировать развитие горения в различные периоды времени. Таким образом, комплексная система мониторинга вносит большой вклад в получение информации, отражающей направление развития и динамику природного пожара.

Цель и методы исследования

Целью работы явилось рассмотрение и описание современных функциональных возможностей методов и средств комплексной системы мониторинга по фиксированию направления развития и динамики природного пожара, результаты которых используются в ходе осуществления экспертной деятельности по

выявлению очага пожара и определению причины его возникновения.

В ходе исследования решалась задача по описанию современных функциональных возможностей средств комплексной системы мониторинга природных пожаров с формулировкой авторского понятия применения результатов подобной системы. Также проведена оценка использования комплексной системы мониторинга в практической деятельности ведомств, занимающихся вопросами расследования лесных пожаров.

По результатам проведенного исследования использованы следующие методы: анкетирование, описательный анализ, аналитический метод, ретроспективный анализ, метод декомпозиции. В работе представлено описание современных средств и методов, входящих в комплексную систему мониторинга. Аналитический метод позволил описать современные функциональные возможности средств комплексной системы мониторинга, а также возможности применения результатов от их использования в экспертной деятельности по установлению очага пожара. Метод анкетирования позволил оценить реализацию применения средств мониторинга в практической деятельности судебно-экспертных учреждений и подразделений, занимающихся вопросами расследования лесных пожаров. Метод описательного анализа позволил исследовать результаты от применения космического мониторинга реальных пожаров с использованием полученных данных для оценки направления развития и динамики природных пожаров. С использованием метода декомпозиции авторами разработана блок-схема, которая отражает алгоритм применения результатов комплексной системы мониторинга природных пожаров в рамках экспертной деятельности по установлению очага пожара.

Основная часть

В целях мониторинга природных пожаров в России созданы подразделения наземной и авиационной охраны лесов от пожаров, которые функционируют в круглогодичном режиме. С началом пожароопасного сезона и в течение всего этого периода начинается активная фаза мониторинга с привлечением космических, авиационных и наземных сил и средств [2, 10].

Кроме того, в настоящее время определенную популярность приобретают беспилотные летательные аппараты для ведения

мониторинга природных пожаров. Также в качестве еще одного вида в последние годы выделяют видеомониторинг [3].

Современный этап развития методологии спутникового мониторинга лесов определяется беспрецедентно высоким уровнем доступности спутниковых данных, возможностью их оперативного получения, развитием автоматизированных технологий предварительной и тематической обработки данных [4].

Распределение космических снимков позволяет в процессе подготовки к пожароопасному сезону прогнозировать вероятные места возникновения природных пожаров и возможные варианты их развития на основании статистических данных [5].

Анализ зарубежного опыта также говорит о важности использования космического мониторинга в целях прогнозирования и отслеживания путей развития природного пожара. В качестве примера отметим проект WIFIRE, который представлен комплексной системой для моделирования пожара на основе данных прогнозирования и визуализации поведения лесных пожаров в режиме реального времени. Разнообразные спутниковые данные и данные наземных датчиков в режиме реального времени с использованием вычислительных методов обработки сигналов обеспечивают мониторинг окружающей обстановки и погодных условий с целью прогнозирования скорости распространения лесного пожара [6].

Следовательно, результаты от применения комплексной системы мониторинга являются объективными данными для установления обстоятельств возникновения и развития природного пожара. Различные технологии распознавания признаков горения позволяют отследить место его возникновения, пути распространения и оценить динамику, а также передать информацию в соответствующие службы для ее архивирования. База данных по конкретному пожару впоследствии может использоваться в целях расследования всех обстоятельств подобного происшествия.

При этом, только совокупность применения всех средств системы мониторинга позволяет получать и исследовать объективную информацию о параметрах природного пожара, необходимую для экспертного исследования по решению вопросов о механизмах и условиях развития пожара. В качестве примера к таким данным можно отнести тип пожара, виды горючих материалов, степень термических поражений, температура воздуха, влажность, скорость и направление ветра, рельеф местности. Вместе с тем, направление развития и динамика пожара может определяться не всеми видами мониторинга. Исключение составляет наземный мониторинг, особенностью которого является

фиксирование информации о признаках горения в первоначальный момент времени, когда площадь горения незначительна. Методом наземного мониторинга можно выявить признаки направленности распространения горения на участке природного пожара [7].

Ряд исследователей предполагают, что применение систем спутникового мониторинга лесных пожаров в рамках доследственной проверки значительно повышает качество проводимых следственных мероприятий. Отмечается, что использование данных спутниковой информации помогает экспертам в ситуациях, когда возникают трудности с установлением очага пожара [8].

Система спутникового мониторинга лесных пожаров является незаменимым источником объективной информации, позволяющей эксперту на высоком уровне решать ряд экспертных задач. Вместе с тем, какие-либо методические рекомендации по применению систем в настоящее время отсутствуют [9].

Таким образом, только комплексная система мониторинга природных пожаров позволяет выявить признаки горения как на начальном этапе развития, так и на этапе активного распространения. Под комплексной системой мониторинга авторами понимается совокупность использования всех средств мониторинга природного пожара, которые позволяют отслеживать возникновение и развитие горения в реальном времени с накоплением архивной информации по нему. Данная информация необходима для использования в дальнейшем в ходе проведения пожарно-технических исследований. Однако, авторским коллективом отмечается проблема по использованию результатов комплексной системы мониторинга в рамках экспертного исследования природных пожаров. Данная проблема заключается в том, что отсутствуют алгоритмы действий для экспертов по использованию характеристик пожара, фиксируемых средствами мониторинга, которые используются по наблюдению за развитием горения в реальном времени.

Результаты исследований и обсуждение

В ходе исследования авторами проведено анкетирование коллективов учреждений различных ведомств системы экспертной деятельности, которые занимаются вопросами расследования лесных пожаров с целью раскрытия их причин и условий, способствовавших возникновению горения. Анкетный опрос проводился среди сотрудников различных подразделений трех федеральных округов Российской Федерации. Количество опрошенных лиц в Центральном федеральном округе РФ составило 16 человек, в Северо-Западном федеральном округе

РФ – 15 человек, в Уральском федеральном округе РФ – 11 человек. В итоге, общее количество опрошенных лиц различных подразделений по трем федеральным округам составило 42 человека.

В анкетах были указаны вопросы, связанные с использованием различных видов мониторинга в ходе проведения экспертного

исследования. С учётом ответов получены сводные данные, отражающие особенности использования сотрудниками ведомств системы экспертной деятельности информации от средств системы мониторинга в ходе проведения исследования природных пожаров. Сводные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сводные данные по результатам анкетирования сотрудников

Вопросы	Расположение учреждений	Варианты ответов				Пояснения
		Часто	Иногда	Редко	Никогда	
Используется ли информация от применения средств мониторинга в ходе исследования природных пожаров?	Центральный федеральный округ РФ		+			Использование информации, полученной по результатам применения средств мониторинга, зависит от объема материалов, предоставляемых органами дознания и следствия
	Северо-Западный федеральный округ РФ			+		
	Уральский федеральный округ РФ			+		
Используете ли данные, по результатам применения спутникового мониторинга?	Центральный федеральный округ РФ		+			В практической деятельности используются данные по результатам анализа материалов по термоточкам на местности, с учетом фиксации их в материале проверки
	Северо-Западный федеральный округ РФ			+		
	Уральский федеральный округ РФ		+			
Применяются ли в практике беспилотные летательные аппараты для оценки площади и динамики природного пожара?	Центральный федеральный округ РФ		+			Применение зависит от возможности использования беспилотных летательных аппаратов на конкретной территории при сложившихся обстоятельствах пожара
	Северо-Западный федеральный округ РФ			+		
	Уральский федеральный округ РФ			+		
Были ли ситуации, когда данные мониторинга помогли более точно установить очаг природного пожара?	Центральный федеральный округ РФ	+				Данные мониторинга дополняли комплекс информации для установления очага пожара
	Северо-Западный федеральный округ РФ		+			
	Уральский федеральный округ РФ	+				

Анализ сводных данных по результатам анкетирования сотрудников показал, что отмечается недостаточно частое использование результатов мониторинга в практических целях. Использование результатов от применения

системы мониторинга также зависит от объема материалов, предоставляемых органами дознания и следствия. Для получения необходимой информации органы дознания должны подготовить запросы в соответствующие

организации с дальнейшим направлением полученной информации в судебно-экспертные учреждения. Кроме того, в результате анкетирования установлено, что информация от средств мониторинга в большинстве случаев помогала более точно установить очаг природного пожара.

В [9] также отмечается, что сотрудниками судебно-экспертного учреждения достаточно часто применяется метод анализа спутниковых снимков при решении экспертных задач. Авторы отмечают этот положительный опыт использования результатов космического мониторинга для проведения исследования различных природных пожаров.

Таким образом, как показал метод анкетирования, использование средств мониторинга в целях пожарно-технических исследований происходит не во всех случаях. Вместе с тем, при их применении достигается эффективность, связанная с установлением направления развития и динамики природного пожара.

Как отмечалось ранее, для решения задач экспертного исследования эксперту важно иметь максимальный объём объективной информации об особенностях и условиях возникновения пожара. Результаты от применения комплексной системы мониторинга будут являться объективными данными для установления обстоятельств возникновения и развития

каждого природного пожара. Подобная комплексная система мониторинга важна для исследования пожара с целью определения механизма и причин возникновения возгорания. В ходе реконструкции процесса развития горения могут использоваться результаты применения средств различных видов мониторинга.

Соответственно, на основании вышеизложенного, авторами в ходе проведенного исследования применялся ретроспективный анализ результатов космического мониторинга данных по лесным пожарам. С помощью имеющихся данных в информационной системе дистанционного мониторинга осуществлялось изучение архивных снимков до и после пожара для оценки его динамики.

В качестве первого примера рассмотрим результаты космического мониторинга одного из крупных пожаров, зарегистрированного в данной системе. В 02 ч 55 мин спутником обнаружена одна детектированная «горячая точка» по зоне пожара на площади 3 га, в том числе покрытые лесом 2 га. Около 13 ч этого же дня данный пожар был зафиксирован в ходе авиационного мониторинга (сообщение от лётчика-наблюдателя с воздушного судна) на площади 4 га. Пожар имел развитие в течение семи дней.

В карточке учёта лесного пожара отмечена динамика (табл. 2).

Таблица 2. Динамика пожара из карточки учёта системы

Дата наблюдения за пожаром	Пройденная огнем площадь, га			
	с момента возникновения		за сутки	
	всего	в т.ч. покрытая лесом	всего	в т.ч. покрытая лесом
Первый день	3	2	3	2
Второй день	114	84	111	82
Пятый день	1379	1070	1256	986
Шестой день	3995	2920	2616	1850
Седьмой день	4143	3030	148	110

Анализируя данные табл. 2 можно заключить, что наибольшая интенсивность пожара наблюдалась на шестой день развития. Впоследствии развитие пожара имело резкое уменьшение, что отразилось на пройденной огнём площади. Данная информация иллюстрирует динамику пожара.

К карточке пожара была приложена картографическая схема на каждый день развития, по которой определяется направление развития. Авторами подготовлена иллюстративная часть, отражающая направление развития горения, с использованием общедоступной карты местности из сети интернет и материалов карточки учета информационной системы дистанционного мониторинга (табл. 3). На иллюс-

тративном материале линиями отмечена площадь зоны горения.



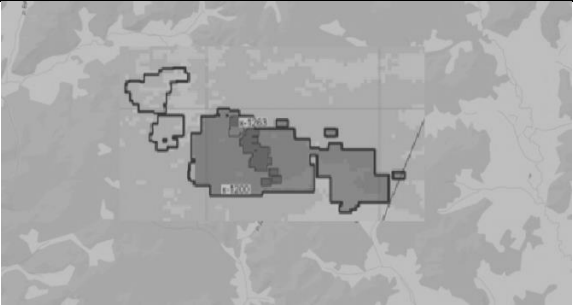

По иллюстративным картам можно сделать вывод о направлении развития из зоны первоначального возникновения горения в северную, западную и восточную стороны. С преобладанием в северную и восточную стороны. Затем на границах к данному пожару возникли дополнительные очаги горения, которые были объединены в одну общую зону пожара. По данной информации выявлено направление развития горения. В учётной карточке пожара были приведены и координаты точки регистрации первоначального возникновения пожара.

Следовательно, получен комплекс информации, по которой в совокупности получен конечный результат на определение зоны

первоначального возникновения горения. Совокупность выделенных факторов влияет на конечный результат при решении экспертной задачи по выявлению очага пожара путём оценки направления развития и динамики природного пожара. Можно заключить, что применение космического мониторинга позволило выявить направление развития и динамику лесного пожара. Кроме того, дополнительно с помощью картографического интерфейса системы изучены контуры рек и водоёмов, особенности рельефа, расположение дорог и железнодорожных путей. С целью определения более локализованной зоны первоначального горения можно

использовать результаты видеомониторинга, на котором будут видны контуры признаков горения. По данным признакам определяются координаты места очага пожара, а также контуры направления развития пламени и дыма. Совокупность данной информации в итоге позволит эксперту определить достаточно точно зону очага пожара. Исходя из этого, будет рассмотрен краткий перечень возможных версий возникновения пожара. Таким образом, результаты использования космических средств мониторинга положены в основу исследования для оценки динамики распространения горения на конкретной территории.

Таблица 3. Наглядное отражение направления развития пожара в различные дни наблюдения за пожаром

День наблюдения за пожаром	Иллюстративная часть с изображением контуров пожара		
Первый день			
Второй день			
Пятый день			
Седьмой день			

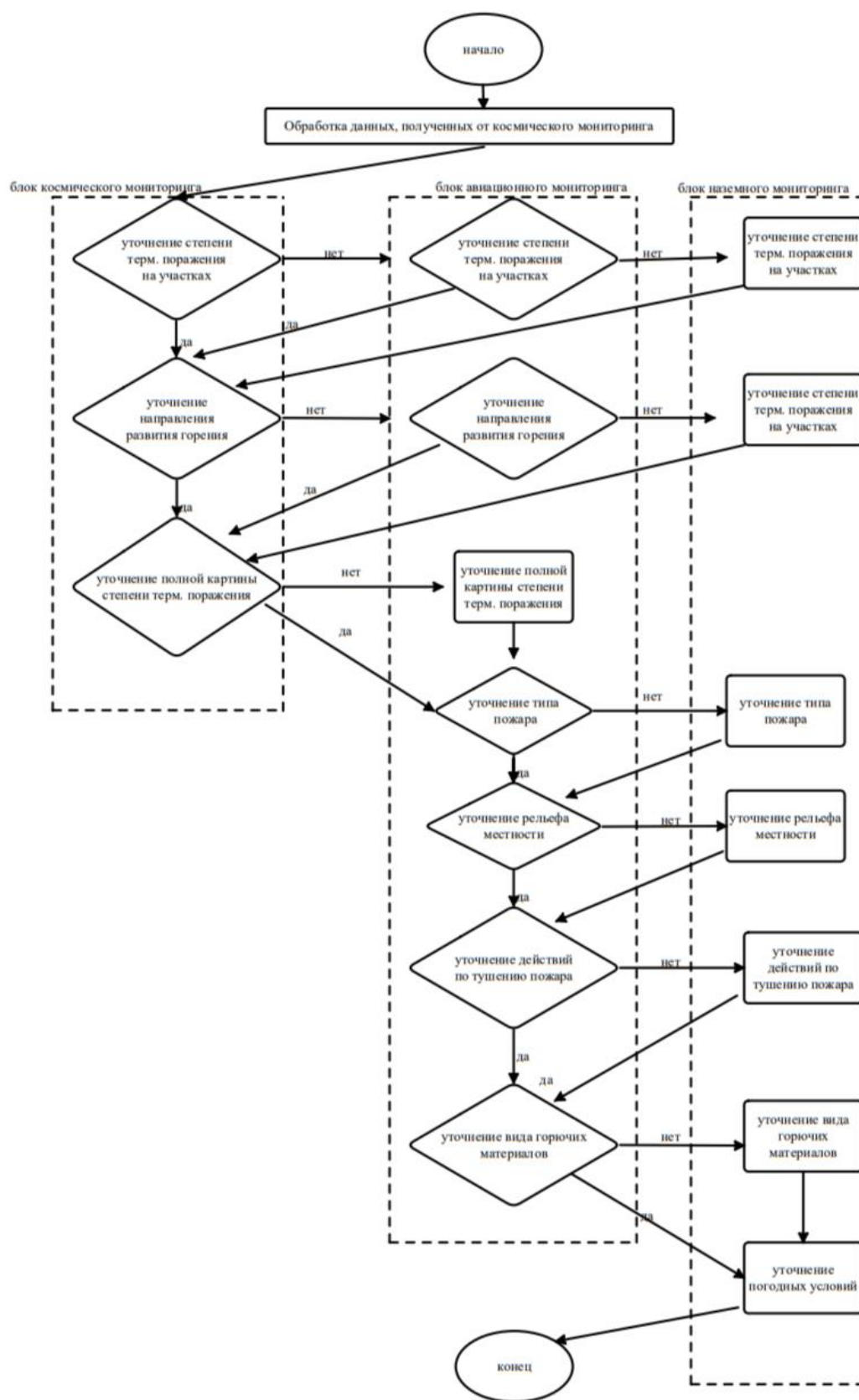


Рисунок. Алгоритм изучения характеристик природного пожара комплексной системой мониторинга

Однако, как отмечалось ранее авторами, в настоящее время отсутствуют алгоритмы действий для экспертов по использованию характеристик пожара, фиксируемых средствами мониторинга, которые используются по наблюдению за развитием горения в реальном времени.

Следовательно, для решения выявленной проблемы авторами разработан алгоритм, который отражает последовательность применения результатов комплексной системы мониторинга природных пожаров в рамках экспертной деятельности по установлению очага пожара. Перечень характеристик природного пожара, используемый в данном алгоритме, представлен на основании ранее проведенных авторами исследований. По результатам которых отмечено, что только совокупность применения всех средств системы мониторинга позволяет получать и исследовать объективную информацию о параметрах природного пожара, необходимую как на этапах тушения пожара, так и на стадии экспертного исследования для решения вопросов о механизмах и условиях возникновения природного пожара [7].

На рисунке представлен разработанный авторами алгоритм, который отражает пример последовательных действий для эксперта по изучению характеристик природного пожара комплексной системой мониторинга.

Алгоритм отражает последовательные действия по изучению характеристик природного пожара, необходимых для экспертного исследования. По данному алгоритму возможно проведение полного анализа характеристик природного пожара с использованием всех средств мониторинга, которые позволяют отслеживать возникновение и развитие горения в реальном времени с накоплением архивной информации по нему. Соответственно алгоритм отражает реализацию применения комплексной системы мониторинга.

Заключение

1. В ходе проведенного исследования были рассмотрены современные функциональные возможности методов и средств комплексной системы мониторинга по фиксации направления развития и динамики природного пожара, результаты которых используются в ходе осуществления экспертной деятельности по определению очага пожара и причины его возникновения. Сформулировано авторское понятие комплексной системы мониторинга, под которым понимается совокупность использования всех средств мониторинга, позволяющих отслеживать возникновение и развитие горения в реальном времени с накоплением архивной информации по нему.

2. В работе проанализировано практическое применение способов получения информации от комплексной системы мониторинга для фиксации направления развития и динамики природных пожаров, используемых в пожарно-технической экспертизе. Описано использование зафиксированной информации средствами космического мониторинга о направлении развития и динамики природного пожара при определении места первоначального возникновения горения. Установлена значимость результатов от применения различных систем по наблюдению за природным пожаром, по результатам которых выявляются квалификационные признаки для установления места очага пожара.

3. Проведена оценка использования комплексной системы мониторинга в практической деятельности ведомств, занимающихся вопросами расследования лесных пожаров. Результаты проведенного исследования показали, что в настоящее время средства мониторинга являются неотъемлемой и необходимой частью для расследования пожара, которое достигается путём анализа направления и динамики горения.

4. Разработан алгоритм по изучению характеристик природного пожара для использования в практической деятельности судебно-экспертных учреждений, которые решают задачи по установлению причин возникновения пожара. Алгоритм отражает реализацию применения комплексной системы мониторинга с использованием всех его средств, которые отслеживают возникновение и развитие горения в реальном времени. Данный алгоритм позволяет логически верно изучать информацию по результатам фиксации направления развития и динамики природного пожара комплексной системой мониторинга.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно заключить, что совокупность данных, которые были получены комплексной системой мониторинга, могут быть использованы при решении экспертной задачи по выявлению очага пожара путём оценки направления развития и динамики природного пожара. Эксперт, обладая всей необходимой характеристикой природного пожара, в том числе информацией о направлении развития и динамики, будет иметь возможность определить границы зоны первоначального возникновения горения. В дальнейшем в ходе осмотра места происшествия с учетом обнаруженных признаков направленности распространения горения и очаговых признаков экспертом будет определено в данной зоне конкретное место очага пожара.

Список литературы

1. Семенов А. О., Калашников Д. В., Семенов А. Д. Особенности тушения природных пожаров на начальных этапах // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 85–93.
2. Подрезов Ю. В. Современные методические особенности мониторинга и прогнозирования чрезвычайных лесопожарных ситуаций // Гражданская оборона на страже мира и безопасности. 2023. С. 37–41.
3. Подрезов Ю. В. Методические особенности мониторинга чрезвычайных лесопожарных ситуаций // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций. 2022. С. 40–46.
4. Обеспечение информационной связанности территории России с использованием систем дистанционного зондирования Земли / А. А. Лутовинов, Е. А. Лупян, М. А. Погосян [и др.] // Вестник Российской академии наук. 2019. С. 502–508.
5. Балобанов А. А., Скрипка А. В., Музыченко С. А. Совершенствование системы мониторинга и прогнозирования лесопожарной обстановки на территории Новосибирской области // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 6–11.
6. Towards an Integrated Cyberinfrastructure for Scalable Data-driven Monitoring, Dynamic Prediction and Resilience of Wildfires / Ilkay Altintas, Jessica Block, Raymond de Callafon [et al.]. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 51, pp. 1633–1642.
7. Калашников Д. В., Семенов А. О., Смыслова А. И. Система мониторинга как средство для экспертного исследования природных пожаров // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 885–889.
8. Об особенностях применения геоинформационной системы дистанционного мониторинга земли при установлении обстоятельств и причин лесных пожаров / А. А. Дятлов, Е. С. Убиенных, М. А. Никулин [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1 (36). С. 65–77.
9. Использование результатов информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров при расследовании уничтожения или повреждения лесных насаждений / О. П. Грибунов, Р. О. Морозов // Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2022. № 1 (21). С. 26–34.

10. Исследование эффективности использования беспилотной авиации для тушения пожаров в высотных зданиях / Р. В. Халиков, В. М. Климовцов, А. А. Б. Гаплаев [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 3 (56). С. 62–69. EDN: SEJVZL.

References

1. Semenov A. O., Kalashnikov D. V., Semenov A. D. Osobennosti tusheniya prirodnih pozharov na nachal'nyh etapah [Features of extinguishing wildfires at the initial stages]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 85–93.
2. Podrezov Yu. V. Sovremennye metodicheskie osobennosti monitoringa i prognozirovaniya chrezvychajnyh lesopozharnykh situacij [Modern methodological features of monitoring and forecasting emergency forest fire situations]. *Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti*, 2023, pp. 37–41.
3. Podrezov Yu. V. Metodicheskie osobennosti monitoringa chrezvychajnyh lesopozharnykh situacij [Methodological features of monitoring emergency forest fire situations]. *Monitoring, modelirovanie i prognozirovanie opasnykh prirodnih yavlenij i chrezvychajnykh situacij*, 2022, pp. 40–46.
4. Obespechenie informacionnoj svyazannosti territorii Rossii s ispol'zovaniem sistem distancionnogo zondirovaniya Zemli [Ensuring the information connectivity of the territory of Russia using Earth remote sensing systems] / A. A. Lutovinov, E. A. Lupyan, M. A. Poghosyan [et al.]. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*, 2019, pp. 502–508.
5. Balobanov A. A., Skripka A. V., Muzychenko S. A. Sovershenstvovanie sistemy monitoringa i prognozirovaniya lesopozharnoj obstanovki na territorii Novosibirskoj oblasti [Improving the system of monitoring and forecasting the forest fire situation in the Novosibirsk region]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 4 (49), pp. 6–11.
6. Towards an Integrated Cyberinfrastructure for Scalable Data-driven Monitoring, Dynamic Prediction and Resilience of Wildfires / Ilkay Altintas, Jessica Block, Raymond de Callafon [et al.]. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 51, pp. 1633–1642.
7. Kalashnikov D. V., Semenov A. O., Smyslova A. I. Sistema monitoringa kak sredstvo dlya ekspertnogo issledovaniya prirodnih pozharov [Monitoring system as a tool for expert research of natural fires]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 375-letiyu*

pozharnoy okhrany Rossii. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024. Pp. 885–889.

8. Ob osobennostyah primeneniya geoinformacionnoj sistemy distancionnogo monitoringa zemli pri ustanovlenii obstoystel'stv i prichin lesnyh pozharov [On the specifics of using a geoinformation system for remote monitoring of the earth when determining the circumstances and causes of forest fires] / A. A. Dyatlov, E. S. Ubiennykh, M. A. Nikulin [et al.]. *Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik*, 2025, vol. 1 (36), pp. 65–77.

9. Ispol'zovanie rezul'tatov informacionnoj sistemy distancionnogo monitoringa lesnyh pozharov

pri rassledovanii unichtozheniya ili povrezhdeniya lesnyh nasazhdenij [Using the results of the information system for remote monitoring of forest fires in the investigation of destruction or damage to forest plantations] / O. P. Gribunov, R. O. Morozov. *Kriminalistika: vchera, segodnya, zavtra*, 2022, vol. 1 (21), pp. 26–34.

10. Issledovaniye effektivnosti ispol'zovaniya bespilotnoy aviatsii dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [A study on the effectiveness of using unmanned aerial vehicles to extinguish fires in high-rise buildings] / R. V. Khalikov, V. M. Klimovtsov, A. A. B. Gaplaev [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2025, vol. 3 (56), pp. 62–69.

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

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 (в составе УНК «Пожаротушение»)

E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovich

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

E-mail: bubag@mail.ru

Тихановская Людмила Борисовна

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

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

Tikhanovskaya Lyudmila Borisovna

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, Associate Professor of the Department

E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

УДК 66.08:620.191

DOI 10.48612/ntp/fnha-p4p5-4x6x

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ СЕРОВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ

А. Ф. ЧУДАКОВА, С. А. СЫРБУ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: fedorovna-2021@list.ru, syrbye@yandex.ru

Коррозия металлов представляет собой химический процесс взаимодействия их компонентов с веществами окружающей среды, что приводит к образованию новых химических соединений. Этот процесс является существенной проблемой, вызывающей значительные экономические потери. Для предотвращения коррозии и минимизации её последствий необходимо осуществлять постоянные исследования и разрабатывать эффективные методы борьбы с ней. Для снижения воздействия коррозионной среды необходимо точно оценивать параметры скорости коррозии. Существует множество различных методов и стандартов для определения скорости коррозии (в том числе, гравиметрический или метод измерения изменения массы), каждый из которых имеет свои ограничения и области применения. Выбор адекватного метода может быть затруднен, так как разные подходы могут привести к противоречивым результатам и затруднениям при выборе методики.

Ключевые слова: нефтяные резервуары, сероводородная коррозия; коррозионная стойкость; скорость коррозии; защита от коррозии; сталь.

PROBLEM ISSUES IN THE USE OF REGULATORY DOCUMENTS FOR DETERMINING THE RATE OF HYDROGEN SULFIDE CORROSION

A. F. CHUDAKOVA, S. A. SYRBU

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: fedorovna-2021@list.ru, syrbye@yandex.ru

Metal corrosion is a chemical process involving the interaction of metal components with environmental substances, resulting in the formation of new chemical compounds. This process is a significant problem, causing significant economic losses. To prevent corrosion and minimize its consequences, ongoing research and the development of effective methods for combating it are essential. To reduce the impact of a corrosive environment, accurate assessment of corrosion rate parameters is essential. Many different methods and standards exist for determining corrosion rate (e.g., gravimetric or mass change methods), each with its own limitations and areas of application. Selecting the right method can be challenging, as different approaches can lead to inconsistent results and confusion when choosing a method.

Key words: oil tanks; hydrogen sulfide corrosion; corrosion resistance; corrosion rate; corrosion protection; steel.

Введение

Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов играют ключевую роль в технологических процессах, осуществляемых на нефтебазах. Одним из негативных факторов технологических процессов хранения и транспортировки нефти является процесс коррозии. Коррозионная агрессивность добываемой продукции обусловлена присутствием минерализованной водной фазы и растворенных в ней

коррозионных газов: CO_2 , H_2S и O_2 . Коррозия чаще всего проявляется на внутренней поверхности оборудования, используемого для хранения нефти и нефтепродуктов. Нарушение герметичности приводит к преждевременному выходу оборудования из строя, что вызывает значительные расходы на ремонт и замену, а также оказывает негативное воздействие на окружающую среду [1].

Коррозионные поражения представляют собой поверхностные дефекты металлических материалов, приводящие к локальному утончению стенки и образованию продуктов коррозии на поверхности. В зонах локализации дефектов возникает повышенная концентрация напряжений. Поэтому их своевременное обнаружение и устранение критически важны для обеспечения долговечности и надежности конструкций [2]. В связи с этим необходимо осуществлять систематический коррозионный мониторинг, который позволяет точно оценивать скорость коррозионных процессов. На основании полученных данных следует разрабатывать и реализовывать меры по снижению негативного воздействия коррозионной среды на материал, из которого изготовлено технологическое оборудование [3-4].

Российские исследователи активно занимаются разработкой инновационных технологий антикоррозионных покрытий, предназначенных для обеспечения длительной защиты металлических конструкций от коррозионных процессов. В настоящее время изучение проблемы коррозии не теряет своей актуальности. Поэтому, по мнению авторов [5], необходимо формирование новой законодательной базы, которая позволит стимулировать промышленность к их внедрению и будет способствовать развитию инновационных разработок в области антикоррозионных покрытий.

Скорость коррозии зависит от коррозионной стойкости металла, параметров агрессивной среды, наличия и состояния антикоррозионной обработки, конструктивного решения и прочих факторов. Оценка фактического коррозионного износа стальных конструкций, находящихся в эксплуатации, является критически важной для мониторинга их технического состояния, планирования мероприятий по восстановлению, а также для предотвращения аварийных ситуаций, таких как отказы и обрушения [6].

В современных нормативных документах, технической литературе и научных исследованиях вопрос корректного определения коррозионного износа остается недостаточно разработанным. Существующие указания не всегда ясно определяют методы измерения потерь массы металла. Также отсутствует единое мнение относительно представления результатов этих измерений. В связи с этим необходимо обновление соответствующих разделов нормативных документов, регулирующих инструментальную оценку коррозионного износа.

На сегодняшний день нормативно-правовыми документами о защите от коррозии являются:

1. «ГОСТ Р 9.907-2007 (ИСО 8407:1991) Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний».

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

Настоящий стандарт¹ устанавливает методы удаления продуктов коррозии с образцов металлов, сплавов, металлических покрытий (далее – образцы) после коррозионных испытаний, применяемые при определении коррозионных потерь по изменению массы образцов.

Другой стандарт² устанавливает методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости металлов и сплавов при различных видах коррозии, таких как питтинговая, межкристаллитная, коррозионное растрескивание и других.

Исходя из вышесказанного целью нашей работы явилась оценка методов определения показателя скорости коррозии образцов стали после коррозионных испытаний, применяемых при определении коррозионных потерь, по изменению массы образцов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужила конструкционная сталь марки «СтЗсп». Эта сталь широко применяется в качестве основного материала для производства вертикальных стальных резервуаров (РВС) благодаря своим эксплуатационным характеристикам и широкому распространению в данной отрасли.

Для оценки скорости коррозии были подготовлены образцы из стали размером 50х30х3 мм. Стальные пластины подвергались обезжириванию с использованием растворителя марки «Р4». После этого они обрабатывались механическим способом с применением абразивной бумаги зернистостью Р400. Пластины взвешивались на аналитических весах с точностью $\pm 0,00001$ г, размещались внутри лабораторной установки, где были симитированы условия паровоздушного пространства резервуара для хранения нефти. Пары нефти образовывались естественным образом вследствие

¹ ГОСТ Р 9.907-2007 (ИСО 8407:1991) Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний. М.: Стандартинформ, 2007. 19 с.

² ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999, 34 с.

испарения нефти из емкости, размещенной в установке. Концентрация сероводорода в установке достигалась 2 % об. за счет подачи газа из внешнего источника. Интервалы времени экспонирования образцов стали составляли 8, 19, 35, 60, 77, 92 и 100 дней. По завершении каждого периода образцы извлекали из экспериментальной установки и проводили их взвешивание.

Масса образцов измерялась с применением аналитических весов первого класса точности, оборудованных встроенной калибровкой. Весы позволяют проводить взвешивание в диапазоне от 52 до 120 г с дискретностью показаний 0,00001 и 0,0001 г соответственно.

Для измерения скорости коррозии образцов стали марки «СтЗсп» в заданных условиях среды в свободном пространстве экспериментальной установки размещали пять образцов стали, предварительно подготовленных к испытаниям.

Скорость поверхностной коррозии определяли гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 9.908-85 и ГОСТ Р 9.907-2007. Суть метода заключается в определении коррозионных потерь с единицы площади поверхности металла в единицу времени.

В зависимости от состояния продуктов коррозии использовали различные варианты гравиметрического метода. Показатель Δm характеризует изменение массы металла в результате реакции, отнесенное к единице площади поверхности образца и к единице времени, и определяется по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot t} \quad (1)$$

где: m_0 – масса образца до испытаний, кг;
 m_1 – масса образца после испытаний, кг;
 S – площадь поверхности образца, м²;
 t – время экспонирования, ч.

Согласно формуле (1), коррозионные процессы способны вызывать как увеличение, так и уменьшение массы исследуемого образца. Изменение массы металла может быть обусловлено либо формированием на его поверхности продуктов коррозии, увеличивающих массу, либо химическим взаимодействием, приводящим к расходу металла и, следовательно, уменьшению его массы. В рамках данного исследования второй подход демонстрирует более высокую эффективность, но требует дополнительных затрат на удаление продуктов реакции без изменения массы основного материала.

Таблица. Растворы и режимы обработки для химического метода удаления продуктов коррозии

С.3.1 ^{а)}	Железо, сталь, чугун	1000 см ³ соляной кислоты (HCl, $\rho = 1,19$ г/см ³), 20 г оксида сурьмы (III) (Sb ₂ O ₃), 50 г двухлористого олова (II) (SnCl ₂)	1—25 мин	От 20 °С до 25 °С	Раствор сильно потрясти или образец очистить. В некоторых случаях может потребоваться большее время
С.3.2	Железо, сталь, чугун	50 г гидроксида натрия (NaOH), 200 г гранулированного цинка или кусочков цинка, до 1000 см ³ дистиллированной воды	30—40 мин	От 80 °С до 90 °С	При применении цинка необходимо соблюдать меры по предотвращению образования цинковой пыли, поскольку возможно ее самопроизвольное возгорание на воздухе
С.3.3	Железо, сталь, чугун	200 г гидроксида натрия (NaOH), 20 г гранулированного цинка или кусочков цинка, до 1000 см ³ дистиллированной воды	30—40 мин	От 80 °С до 90 °С	При применении цинка необходимо соблюдать меры по предотвращению образования цинковой пыли, поскольку возможно ее самопроизвольное возгорание на воздухе
С.3.4	Железо, сталь, чугун	200 г лимоннокислого двузамещенного аммония [(NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇], до 1000 см ³ дистиллированной воды	20 мин	От 75 °С до 90 °С	—
С.3.5	Железо, сталь, чугун	500 см ³ соляной кислоты (HCl, $\rho = 1,19$ г/см ³), 3,5 г уротропина (гексаметилен-тетраамина, C ₆ H ₁₂ N ₄), до 1000 см ³ дистиллированной воды	10 мин	От 20 °С до 25 °С	В некоторых случаях может потребоваться большее время
С.3.6	Стали низколегированные и среднелегированные	100 см ³ серной кислоты (H ₂ SO ₄ , $\rho = 1,84$ г/см ³), 5 г ингибитора (тиомочевина или β -нафтол хинолиновый), до 1000 см ³ дистиллированной воды	10—30 мин	20 °С	—

Формирование на поверхности образцов рыхлого, легко отслаивающегося слоя продуктов коррозии затруднило точное измерение прироста массы. В связи с этим была применена стандартная методика [27] удаления продуктов коррозии. Согласно ГОСТ 9.907-2007 одним из методов удаления продуктов коррозии является химический. Сущность метода заключалась в растворении продуктов коррозии на поверхности образцов с использованием растворов, состав которых приведен в указанном ГОСТ, и последующем удалении продуктов растворения. Потерю массы металла определяли по разности масс испытуемых образцов стали до и после травления. Состав раствора и режим травления выбирали по таблице и применяли в соответствии с требованиями к материалу.

Травильные растворы для удаления продуктов коррозии зачастую химически агрессивны и могут растворять металл, поэтому в качестве травильного раствора был выбран раствор соляной кислоты с уротропином, так как это позволяет одновременно растворять продукты коррозии и защищать поверхность металла от агрессивного воздействия кислоты. Уротропин действует как ингибитор коррозии, замедляя или предотвращая разрушение самого металла. После травления образец промывали проточной водой, обрабатывали этиловым спиртом и высушивали с помощью фильтровальной бумаги.

Результаты исследования и их обсуждение

С использованием формулы 1 и экспериментальных данных по изменению массы образцов определили значения скорости коррозии стали на каждом этапе экспонирования согласно требованиям ГОСТ 9.908-85. На рис. 1 и 2 представлены экспериментально полученные зависимости скорости поверхностной коррозии образцов стали от времени их экспонирования в лабораторной установке, имитирующей паровоздушное пространство резервуара. Зависимость, приведенная на рис. 1, получена на основании экспериментальных данных по приросту массы образцов стали в процессе протекания сероводородной коррозии. Зависимость, представленная на рис. 2, получена на основании экспериментальных данных по убыли массы образцов стали в процессе протекания сероводородной коррозии.

Как видно из рис. 1 и 2, использование обоих подходов показывает, что максимальная скорость поверхностной коррозии стали наблюдается после 8-ми суток экспонирования образцов в лабораторной установке. Однако, следует отметить, что величины скорости равномерной коррозии, определенные с использованием разных подходов, отличаются в 7,33 раза. Более высокие значения скорости поверхностной коррозии образцов стали, определяемые по убыли массы Δm , позволяют рекомендовать использование указанного подхода в качестве наиболее корректного.

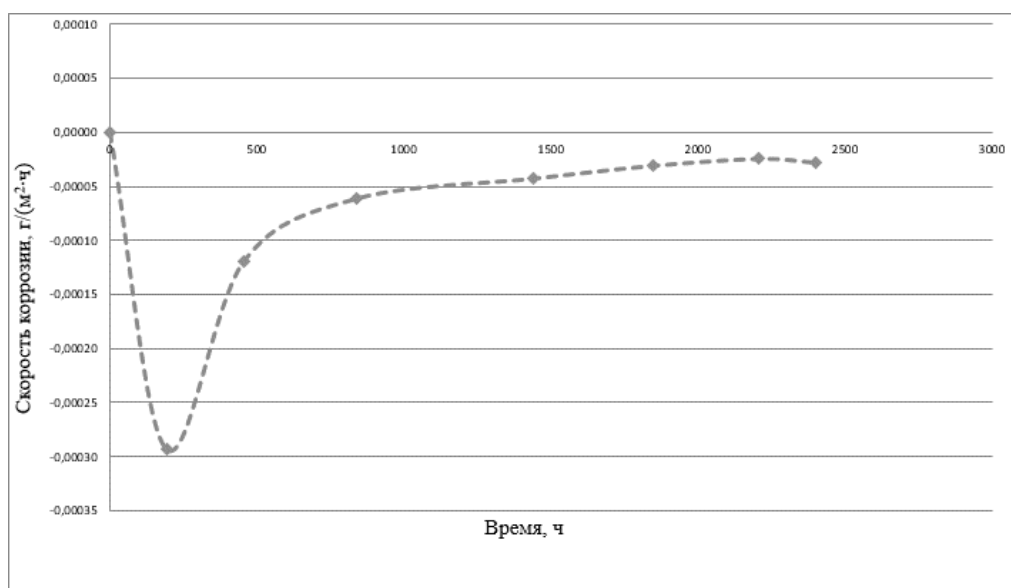


Рис. 1. Зависимость скорости поверхностной коррозии стали от времени экспонирования образцов в лабораторной установке, полученная с использованием экспериментальных данных по приросту массы образцов стали

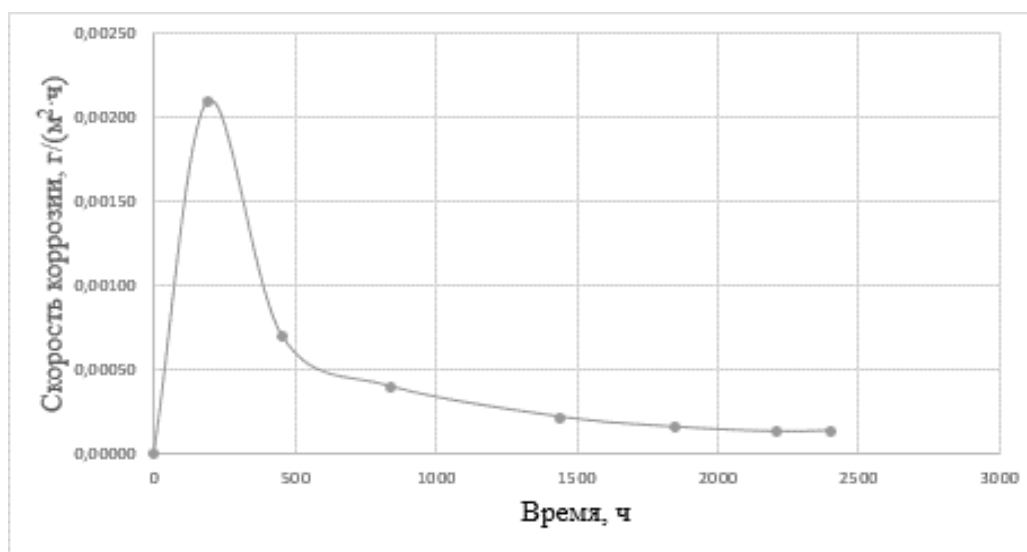


Рис. 2. Зависимость скорости поверхностной коррозии стали от времени экспонирования образцов в лабораторной установке, полученная с использованием экспериментальных данных по убыли массы образцов стали

На наш взгляд, использование подхода определения величины Δm по приросту массы образцов, сопряжено с определенными проблемами. К ним можно отнести неравномерность коррозионного разрушения и отложение продуктов коррозии. Указанные процессы могут как увеличить массу образца, так и создать защитный слой, «маскируя» истинную скорость коррозии. Также на результаты эксперимента могут повлиять факторы окружающей среды и состояние поверхности металла.

Таким образом, к недостаткам указанного подхода можно отнести следующие.

- Неверное определение прироста массы: коррозионные отложения увеличивают массу образца, при этом, разрушения самого металла не происходит.
- Образование защитной пленки: со временем продукты коррозии могут создать на поверхности металла защитный слой, который замедляет или останавливает дальнейшую коррозию, что приводит к заниженным показателям скорости коррозии при длительных испытаниях.
- Различная плотность продуктов коррозии: плотность отложений может быть непостоянной в разных точках объекта, что делает точные расчеты по изменению массы затруднительными.
- Неравномерное распределение продуктов коррозии: коррозия редко происходит равномерно по всей поверхности. Прирост массы может быть нерепрезентативным для характеристики общей скорости коррозии, если значительная часть образца остается незатронутой.

- Различная чувствительность процесса коррозии к влиянию среды на различных стадиях процесса: на начальном этапе, когда коррозия только начинается, прирост массы может быть минимальным или незаметным, даже если процесс уже активно развивается.

Существуют проблемы и при определении скорости коррозии по убыли металла. Они заключаются в неоднородности процесса коррозии, влиянии внешних факторов на скорость потери массы, возможной зависимости потери массы от состава травильного раствора. Методика может быть точной только при равномерном протекании процесса и постоянстве всех условий.

Заключение

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что определение скорости поверхностной коррозии несмотря на его методическую сложность не предоставляет полной и окончательной информации о процессах износа оборудования нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий от сероводородной коррозии. Поэтому выводы об эксплуатационных характеристиках оборудования нефтехимических предприятий можно делать только на основании комплекса исследований.

Проблемы использования нормативных документов по определению скорости коррозии включают в себя неполное отражение реальных условий, недостаточную унификацию, сложность адаптации к конкретным средам и невозможность учета всех влияющих факторов. В результате может произойти ошибочная

оценка коррозионного износа и прогнозирования срока службы технологического оборудования. Таким образом, обновление стандартов может помочь не только более точно и оперативно оценивать скорость коррозии, но и оказать помощь в разработке эффективных методов

антикоррозионной защиты оборудования, что позволит снизить эксплуатационные расходы, уровень пожарной опасности, связанной с образованием пирофорных отложений, а также увеличить срок его службы.

Список литературы

1. Определение скорости локальной коррозии насосно-компрессорных труб как необходимый элемент коррозионного мониторинга / Е. А. Вторенко, И. В. Валекжанин, О. А. Латыпов [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 4(105). С. 40–44. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-4-40-44.

2. Исанбердина Л. Р. Коррозионные повреждения стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Технологии технологической безопасности. 2016. № 2(66). С. 199–203.

3. Митрофанов А. С. Защита резервуаров для хранения нефти от образования пирофорных отложений с использованием композитных материалов: дис. ... канд. техн. наук: 2.10.1. Иваново, 2023. 135 с.

4. Возможности использования полимерных композиционных материалов для защиты технологического оборудования для хранения нефти от образования пирофорных отложений / С. А. Сырбу, А. С. Митрофанов, Н. А. Торшинина [и др.] // Химическая физика. 2025. Т. 44, № 11. С. 105–115. DOI: 10.7868/S3034612625110122.

5. Абдиев Д. А. Исследование промышленной безопасности систем транспортировки опасных продуктов (на примере ФБУ «НТЦ Энергобезопасность»): маг. дис. 20.04.01. Тольятти, 2019. 69 с.

6. Федотов С. Д., Улыбин А. В., Шабров Н. Н. О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1(36). С. 12–20. DOI: 10.5862/MCE.36.2.

the rate of local corrosion of tubing as an essential element of corrosion monitoring] / E. A. Vtorenko, I. V. Valekzhanin, O. A. Latypov [et al.]. *E'kspozitsiya Neft' Gaz*, 2024, vol. 4(105), pp. 40–44. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-4-40-44.

2. Isanberdina L. R. Korroziionny'e povrezhdeniya stal'ny'x rezervuarov dlya xraneniya nefti i nefteproduktov [Corrosion damage to steel tanks for storing oil and petroleum products]. *Texnologii texnosfernoj bezopasnosti*, 2016, vol. 2 (66), pp. 199–203.

3. Mitrofanov A. S. Zashhita rezervuarov dlya xraneniya nefti ot obrazovaniya piroforny'x otlozhenij s ispol'zovaniem kompozitny'x materialov. Diss. kand. tekhn. nauk [Protection of oil storage tanks from pyrophoric deposits using composite materials. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2023. 135 p.

4. Vozmozhnosti ispol'zovaniya polimerny'x kompozicionny'x materialov dlya zashhity' tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya xraneniya nefti ot obrazovaniya piroforny'x otlozhenij [Possibilities of using polymer composite materials to protect process equipment for oil storage from the formation of pyrophoric deposits] / S. A. Sirbu, A. S. Mitrofanov, N. A. Torshinina [et al.]. *Khimicheskaya fizika*, 2025, vol. 44, issue 11, pp. 105–115. DOI: 10.7868/S3034612625110122.

5. Abdiev D. A. Issledovanie promy'shlennoj bezopasnosti sistem transportirovki opasny'x produktov (na primere FBU «NTCz E'nergobezopasnost'»). Mag. Diss [Research on the industrial safety of hazardous product transportation systems (using the example of FBU STC Energo bezopasnost). Mag. diss.]. Tolyatti, 2019. 69 p.

6. Fedotov S. D., Ulybin A. V., Shabrov N. N. O metodike opredeleniya korrozionnogo iznosa stal'ny'x konstrukcij [On the method of determining the corrosion wear of steel structures] / *Inzhenerno-stroitel'ny'j zhurnal*, 2013, vol. 1 (36), pp. 12–20. DOI: 10.5862/MCE.36.2.

References

1. Opredelenie skorosti lokal'noj korrozii nasosno-kompressorny'x trub kak neobxodimy'j e'lement korrozionnogo monitoringa [Determining

Чудакова Анастасия Федоровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: fedorovna-2021@list.ru

Chudakova Anastasia Fedorovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
adjunct of post-graduate courses
E-mail: fedorovna-2021@list.ru

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, профессор
заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин
E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrbu Svetlana Aleksandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Doctor of chemical sciences, professor
Head of the Department of Natural Sciences
E-mail: syrbue@yandex.ru

УДК 614.842/847

DOI 10.48612/ntp/68xk-6v6k-5rbf

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВИДИМОСТИ И ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СКОРОСТЬ СПАСЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ ЛЮДЕЙ С ВЫСОТЫ

Д. Н. ШАЛЯВИН¹, Р. М. ШИПИЛОВ¹, А. Н. ПРОКОПЕНКО², П. В. ЧИСТОВ¹

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

²Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: sharap1897@rambler.ru, rim-sgpu@rambler.ru,
pchistov1982@mail.ru, Alex_prokop@rambler.ru

В статье проведено исследование влияния различных факторов видимости и теплового воздействия на скорость спасения пожарными людей с высоты. В этой связи, целью исследования стало определение влияния нулевой видимости и высоких температур на скорость выполнения упражнения «Вязка двойной спасательной петли с надеванием на пострадавшего». В исследовании приняло участие 30 обучающихся 2 и 3 года обучения. В качестве базы исследования применялась учебная башня и помещение лаборатории функциональной диагностики. Участники тестирования в боевой одежде пожарного и снаряжении выполняли контрольное упражнение «Вязка двойной спасательной петли с надеванием ее на пострадавшего» при влиянии следующих факторов: в условиях нулевой видимости (зашориванием панорамной маски); в условиях теплового воздействия (в помещении, нагретом до температуры +80 С); в условиях нулевой видимости и при тепловом воздействии (в помещении, нагретом до температуры +80 С и с зашоренной панорамной маской); без влияния каких-либо факторов. В исследовании использованы методы системного анализа, теория вероятностей и математической статистики, эксперимент, в рамках которого применялись линейные функции отклика.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что доминирующее значение при оценке времени выполнения упражнения при различных условиях принадлежит уровню видимости: чем выше видимость у пожарного при выполнении упражнения по спасению людей с высоты, тем меньше ему требуется времени на выполнение действий по спасению. Вместе с тем на основании предложенной модели еще одним значимым фактором, выступает уровень теплового воздействия. Так при повышенной температуре время, затраченное на выполнение упражнения по спасению людей, будет выше, чем в обычных комфортных условиях.

Проведенное исследование показало необходимость внедрения в систему профессиональной подготовки выполнения упражнений, приближенных к реальным условиям для качественного обучения пожарных.

Ключевые слова двойная спасательная петля, влияние факторов, низкая видимость, тепловое воздействие, факторный эксперимент, спасение людей.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VISIBILITY AND THERMAL EFFECTS ON THE SPEED OF FIREFIGHTERS RESCUING PEOPLE FROM HEIGHTS

D. N. SHALIAVIN¹, R. M. SHIPILOV¹, A. N. PROKOPENKO², P. V. CHISTOV¹

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

²Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

E-mail: sharap1897@rambler.ru, rim-sgpu@rambler.ru,
pchistov1982@mail.ru, Alex_prokop@rambler.ru

The article studies the influence of various visibility factors and thermal exposure on the speed of rescuing people from a height by firefighters. In this regard, the aim of the study was to determine the influence of zero visibility and high temperatures on the speed of performing the exercise «Knitting a double rescue loop and putting it on the victim». The study involved 30 students of the 2nd and 3rd years of study. The study was based on a training tower and a functional diagnostics laboratory. The test participants in firefighter's combat clothing and equipment performed a control exercise «Knitting a double rescue loop and putting it on the victim» under the influence of the following factors: in conditions of zero visibility (with a blinker panoramic mask); under conditions of thermal exposure (in a room heated to a temperature of +80 C); in conditions of zero visibility and under thermal exposure (in a room heated to a temperature of +80 C and with a blinker panoramic mask); without the influence of any factors. The study used methods of system analysis, probability theory and mathematical statistics, an experiment in which linear response functions were used.

Based on the study, it can be concluded that the dominant value in assessing the time of performing an exercise under various conditions belongs to the visibility level: the higher the visibility of a firefighter when performing an exercise to save people from a height, the less time he needs to perform actions to save people. At the same time, based on the proposed model, another significant factor is the level of thermal exposure. Thus, at elevated temperatures, the time spent on performing an exercise to save people will be higher than in normal comfortable conditions.

The study showed the need to introduce into the professional training system the performance of exercises close to real conditions for high-quality training of firefighters.

Key words. double rescue loop, influence of factors, low visibility, thermal impact, factor experiment, rescue of people.

Введение

В настоящее время пожары являются главной причиной чрезвычайных ситуаций на объектах с массовым пребыванием людей [1, 2, 3]. В свою очередь опасные факторы пожара несут все большую угрозу для здоровья не только гражданского населения, но и самих пожарных. В связи с этим разработка и применение наиболее эффективных решений по снижению травматизма и гибели людей приобретает особую актуальность.

Одним из наиболее значимых направлений в этой области является применение различных спасательных средств, к которым относятся в том числе и специальные средства аварийной эвакуации [4, 5]. Актуальность применения средств аварийной эвакуации по спасению людей обусловлена тем фактором, что зачастую единственным выходом на пути следования является балкон или оконный проём. При этом далеко не все средства эвакуации являются доступными для спасения людей в чрезвычайной ситуации, а самым простым и наиболее общедоступным является веревка пожарная спасательная (ВПС 30/50). Это объясняется не только распространенностью данного средства спасения, но и тем, что в соответствии с приказом МЧС России от 27.06.2022 № 640¹ веревка пожарная спасательная входит в

обязательный минимум оснащения газодымозащитника.

Разработано и применяется множество способов и методов спасения людей с помощью ВПС 30/50, но одним из самых распространенных и общепринятых в пожарной охране способов является спасение пострадавших с помощью двойной спасательной петли (ДСП). Простота выполнения и доступность являются основными критериями выбора данного способа, как основного при спасении людей с высоты на пожарах с помощью ВПС 30/50. Благодаря вязке ДСП можно проводить эвакуацию людей, которые пребывают как в сознании, так и без сознания.

Для приобретения устойчивого навыка по использованию двойной спасательной петли при спасении людей на высоте на основании распоряжения МЧС России от 15.12.2024 № 1224² пожарные отрабатывают обязательное упражнение № 1.6 «Вязка двойной спасательной петли с надеванием ее на пострадавшего». При этом для спуска или подъема пострадавшего с помощью ДСП у звена газодымозащитной службы в экипировке имеется карабин пожарного и ВПС 30/50 [6].

Необходимо отметить, что тренировка и сдача норматива № 1.6 в обычных условиях, то есть при отсутствии пожара и задымления, существенно отличается от реального поведения

¹ Об утверждении правил использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения личным составом подразделений пожарной охраны: приказ МЧС России от 27.06.2022 № 640 // опубликовано на Официальном интернет-портале правовой информации <http://pravo.gov.ru>, 10.04.2023.

² Об утверждении Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы: распоряжение МЧС России от 15.12.2024 № 1224 // Доступ из СПС «КонсультантПлюс».

пожарных. Соответственно, сдача нормативов на тренировках не гарантирует успех при вязке ДСП в реальной экстремальной ситуации.

В этой связи, **целью** данного исследования является **выявление** факторов, влияющих на скорость выполнения упражнения пожарными по спасанию людей с высоты и определение их значимости.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих **задач**:

- осуществление информационного обзора литературных источников применения ДСП пожарными во время спасательных работ;
- экспериментальное определение времени выполнения упражнения по вязке ДСП при влиянии факторов видимости и теплового воздействия;
- определение поправочных коэффициентов на время выполнения упражнения по спасанию людей с высоты при влиянии различных факторов.

Методика

и организация исследования

В исследовании приняло участие 30 обучающихся (юношей) 2 и 3 года обучения Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в возрасте от 20 до 23 лет, изучающих учебную дисциплину «Пожарно-спасательная подготовка». Выполнение анализируемого контрольного упражнения в измененных условиях окружающей среды было описано авторами в учебном пособии «Пожарно-строевая подготовка» в 2025 году [7].

База исследования: учебная башня и помещение лаборатории функциональной диагностики кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

В ходе тестирования применялось следующее оборудование: секундомер Casio HS-80TW-1E, боевая одежда пожарного тип У и снаряжение, веревка пожарно-спасательная 30 метров, Тепловая пушка Ballu BALLU BHP-R2-3 HC-1117321.

Участники тестирования в боевой одежде пожарного и снаряжении должны были выполнить 8 раз контрольное упражнение «Вязка двойной спасательной петли с надеванием ее на пострадавшего» при влиянии следующих факторов

(по две попытки на каждый фактор):

1. В условиях нулевой видимости (с зашориванием панорамной маски).
2. В условиях теплового воздействия (в помещении, нагретом до температуры +80 С).
3. В условиях нулевой видимости и при тепловом воздействии (в помещении, нагретом до температуры +80 С, и с зашоренной панорамной маской).
4. Без влияния каких-либо факторов.

Время лучшей попытки выполнения упражнения при влиянии каждого фактора фиксировалось с помощью секундомера и записывалось в протокол исследования.

В исследовании использованы методы системного анализа, теория вероятностей и математической статистики, эксперимент, в рамках которого применялись линейные функции отклика.

Результаты исследования и их обсуждение

Предупреждение гибели людей на пожарах, без сомнений, одна из основных задач МЧС России. Эвакуация людей, особенно пострадавших, из горящих многоэтажек – одна из сложнейших задач. Проведенный информационно-аналитический обзор литературных и интернет источников выявил, что при спасании людей на пожаре и в различных аварийных ситуациях зачастую применяется ВПС. Проанализируем несколько случаев применения ВПС при спасании людей на пожарах и в аварийных ситуациях.

В городе Одесса 17.09.2012 в жилом доме произошло возгорание крыши и квартиры на 3 этаже. Мужчина самостоятельно не смог спуститься по лестнице, поэтому для его спасения была применена ДСП. Также во время спасения пожарным приходилось работать в условиях нулевой видимости и теплового воздействия³.

В Волгограде в декабре 2015 года во время тушения пожара в многоквартирном доме пожарные спасли несколько человек с 4 этажа с помощью ДСП. Сотрудникам также пришлось работать в условиях нулевой видимости и теплового воздействия⁴.

В апреле 2022 года в Иркутске на пожаре в многоквартирном доме пожарные с использованием ДСП спасли 5-летнего ребёнка⁵.

³ Боевое применение двойной спасательной петли // Боевой участок. Пожарные. МЧС. 21.10.2024. [Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/wall-31039380_1260367 (дата обращения: 03.07.2025).

⁴ Огнеборцы волгоградского гарнизона пожарной охраны: «В нашей службе есть место страху только в одном случае – не успеть спасти жизни людей» // Боевой участок. Пожарные. МЧС. 21.10.2024.

[Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/wall-31039380_2049889 (дата обращения: 03.07.2025).

⁵ Иркутские пожарные поблагодарили спасенных ими ребят за выдержку и грамотные действия // Главное управление МЧС России по Иркутской области. 01.05.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://38.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/4733317> (дата обращения: 03.07.2025).

Приведенные выше случаи спасения людей с помощью веревок показывают, что двойная спасательная петля часто используется. Во всех проанализированных примерах спасения людей с верхних этажей зданий с помощью ДСП пожарным приходилось работать в условиях низкой видимости и теплового воздействия.

В этой связи возникает необходимость проведения экспериментального тестирования для определения времени выполнения упражнения по вязке ДСП при влиянии различных факторов, которые наиболее часто встречаются в практической деятельности пожарных при спасении людей с высоты.

С учётом обобщения результатов реального применения ДСП при спасении людей было проведено экспериментальное тестирование (эксперимент). Цель тестирования – определение факторов видимости и теплового воздействия на скорость выполнения упражнения «Вязка двойной спасательной петли с надеванием на пострадавшего».

Таким образом, в ходе экспериментального тестирования была проведена оценка влияния таких факторов как нулевая видимость и тепловое воздействие на выполнение рабочих процессов. Исследование показало:

1. Как влияют условия нулевой видимости на выполнение упражнения.
2. Какое влияние оказывает тепловое воздействие на пожарных при выполнении упражнения.

Цель проведенного двухфакторного эксперимента заключалась в установлении значимости влияния таких факторов, как условия нулевой видимости и теплового воздействия на выполнение пожарными упражнений для спасения людей с высоты.

Оценка факторов влияния определялась на основе построенной регрессионной модели, которая имеет вид:

$$D = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon, \quad (1)$$

где D – время выполнения упражнения, с;

X_1 – условия теплового воздействия (есть воздействие/нет воздействия);

X_2 – условия видимости (есть видимость/нет видимости);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}$ – коэффициенты рассматриваемых факторов;

ε – случайная составляющая.

Альтернативной моделью является частный случай первичной модели, при котором факторы не воздействуют друг на друга. В таком случае модель будет иметь следующий вид:

$$D = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon. \quad (2)$$

В качестве доказательства гипотезы использовалась линейная функция отклика (Y). Ее значения были получены по итогам проведения полного факторного эксперимента. Данная линейная функция отклика имеет следующий вид (3):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2, \quad (3)$$

где Y – время выполнения упражнения согласно альтернативной модели, с;

b_0, b_1, b_2, b_{12} – выборочные оценки коэффициентов $\beta_1, \beta_2, \beta_{12}$ двухфакторной регрессионной модели.

Модель предполагала, что после доказательства ее адекватности анализируемому процессу оценки коэффициентов b должны были быть приняты, как их реальные значения β .

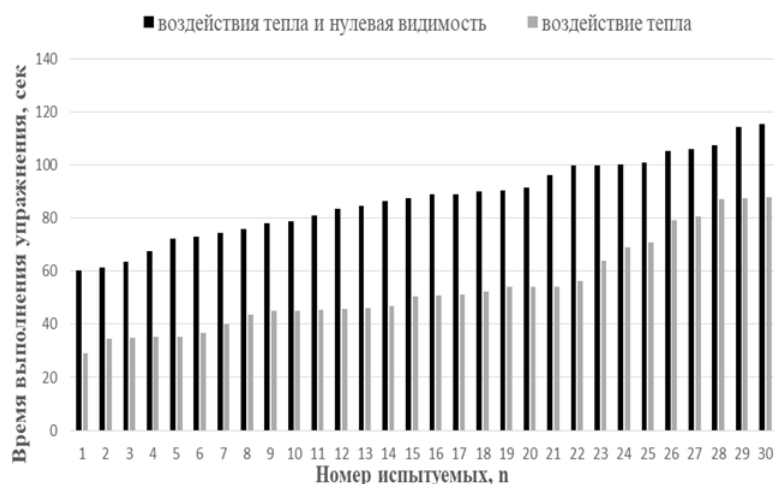


Рис. 1. Экспериментальные показатели времени выполнения упражнения при воздействии тепла (■) и при воздействии тепла и нулевой видимости (■)

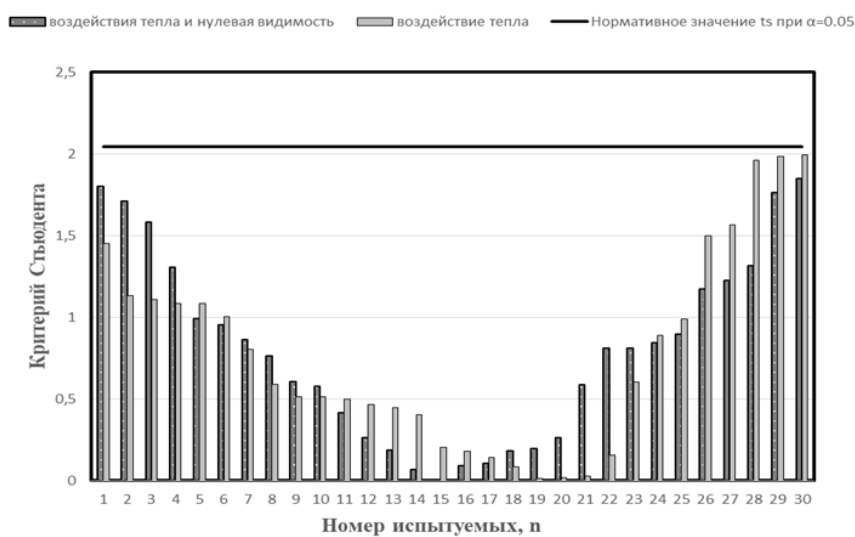


Рис. 2. Поиск недостоверных результатов измерений

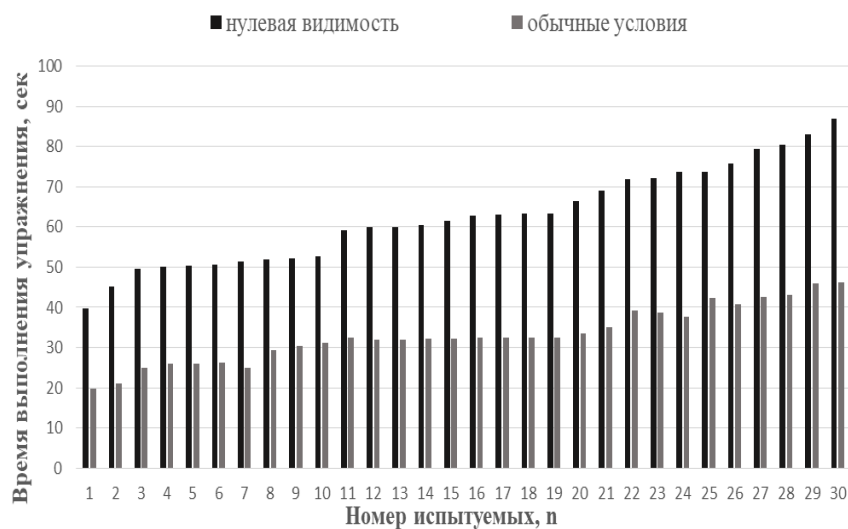


Рис. 3. Экспериментальные показатели времени выполнения упражнения при нулевой видимости и в обычных условиях

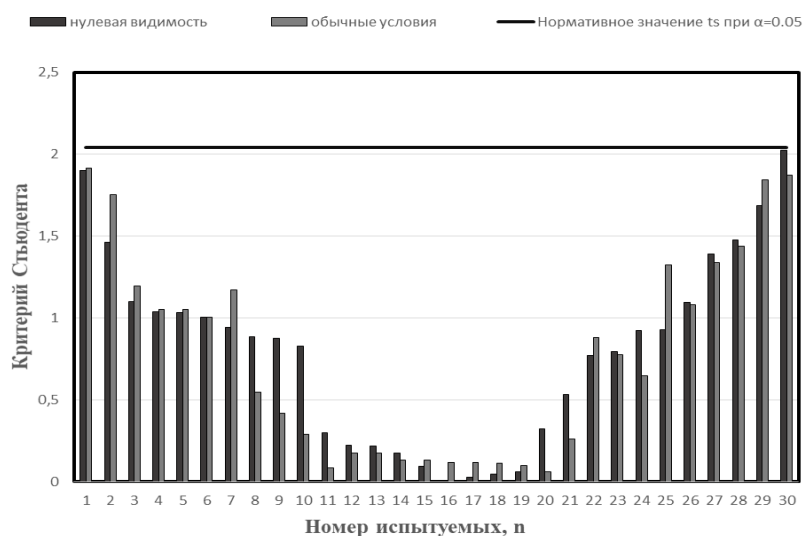


Рис. 4. Поиск недостоверных результатов измерений

Для оценки коэффициентов был организован двухфакторный эксперимент (2^2) и создан общий ортогональный центрально-композиционный план (далее – ОЦКП) [8, 9]. Рассматриваемые факторы X_1 – условия воздействия тепла на тестируемого при выполнении упражнения (рис. 1) (есть воздействие/нет воздействия); X_2 – условия видимости при выполнении упражнения (рис. 3) (есть видимость/нет видимости) являются качественными, соответственно никакого значения не имеет порядок градации их показателей. Для проверки достоверности полученных экспериментальных результатов был использован t-критерий Стьюдента. Результаты проверки представлены на рис. 2, 4.

Пусть $X_1 = +1$ тепловое воздействие, а $X_1 = -1$ – без теплового воздействия, тогда $X_2 = +1$ – условия нулевой видимости; $X_2 = -1$ – обычные условия видимости. Таким образом при рассмотрении теории планирования разработана матрица планирования полного факторного эксперимента для двух факторов. Результаты предварительного анализа параметров значений функции отклика в j -х опытах представлены в табл. 1.

Минимальное допустимое число повторений опытов в эксперименте определено на первом этапе исследования. Для этих целей был применен критерий статистического согласия Фишера.

Расчётное значение F -критерия Фишера определяется по формуле

$$F_p = \frac{S_2^2}{S_1^2} = \frac{290,5}{48,3} = 6,1 \quad (3)$$

где S_1^2 и S_2^2 – минимальная и максимальная величины дисперсии, полученные в ходе выполнения нескольких повторений опытов в исследовании.

Критическое значение было определено по таблице значений, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и количестве степеней свободы $\gamma = 4$. Таким образом критическое значение F -критерия Фишера будет иметь величину $F_{\alpha=0,05; \gamma=4} = 6,4$.

Далее была проверена статистическая гипотеза об однотипности полученных результатов в ходе повторений исследования, на основе однородности дисперсий.

Таким образом, после статистической обработки, $F_p = 6,1$, а $F_{\alpha=0,05; \gamma=4} = 6,4$, следовательно $F_p < F_{\alpha=0,05; \gamma=4}$. Расчётные данные показывают однотипность дисперсий, таким образом для получения достоверных результатов достаточно минимум пяти попыток выполнения упражнений в эксперименте.

Второй этап исследования включал в себя расчет вариационных оценок коэффициентов линейной факторной модели. Для расчета вариационных оценок регрессионной модели был использован метод Йетса.

Результаты расчёта приведены в табл. 2.

Применение метода Йетса позволило рассчитать вариационные оценки коэффициентов уравнения линейной регрессии [8, 9]. Для оценки их значимости был использован статистический критерий Стьюдента, при уровне значимости $\alpha=0,05$, а также построена доверительная область коэффициентов регрессии.

Таблица 1. Результаты предварительного анализа значений функции отклика

№ п/п	Факторы			Параметры		
	X_1	X_2	$X_1 X_2$	Среднее (Y_{cp})	Дисперсия (S^2)	Ст. отклонение (σ)
1	+	+	+	87,4	231,0	15,2
2	-	+	-	53,8	290,5	17,1
3	+	-	-	62,6	144,6	12,1
4	-	-	+	33,2	41,4	6,5

Таблица 2. Расчет вариационных оценок коэффициентов модели

Козф.	Формула расчета	Результат расчета коэффициентов
$b_0=59,3$	$b_0=(Y_1+Y_2+Y_3+Y_4)/4$	$b_0=(87,4 + 62,6 + 53,8 + 33,2)/4$
$b_1=11,4$	$b_1=(Y_1-Y_2+Y_3-Y_4)/4$	$b_1=(87,4 - 62,6 + 53,8 - 33,2)/4$
$b_2=15,8$	$b_2=(Y_1+Y_2-Y_3-Y_4)/4$	$b_2=(87,4+62,6 - 53,8 - 33,2)/4$
$b_{12}=1,1$	$b_{12}=(Y_1-Y_2-Y_3+Y_4)/4$	$b_{12}=(87,4 - 62,6 - 53,8+33,2)/4$

Для этого была оценена средняя дисперсия функции отклика по формуле (5):

$$S_{cp}^2 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_j^2 = \frac{1}{4} (231,1 + 144,6 + 290,5 + 48,3) = 178,6 \quad (5)$$

где M – число опытов в эксперименте.

Для определения критерия значимости вариационных оценок коэффициентов линейной регрессионной модели Δb использована следующая формула (6):

$$\Delta b = \pm t_s \cdot \sqrt{\frac{S^2}{M(N-1)}} = \pm 2,78 \sqrt{\frac{178,6}{4(5-1)}} = \pm 9,3 \quad (6)$$

где t_s – критическое значение статистического критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha=0,05$;

N – минимальное допустимое число повторений исследования в эксперименте.

Для проверки гипотезы о значимости факторов (X_1 , X_2 и X_1X_2) на результирующую функцию – функцию отклика (Y) были предъявлены следующие условия:

– с вероятностью 0,95 фактор значим, если величина Δb меньше значения исследуемого коэффициента b ;

– с вероятностью 0,95 фактор не значим, если величина Δb больше значения исследуемого коэффициента b .

Результаты проверки гипотезы о значимости факторов представлены в табл. 3.

Графическое отображение проверки гипотезы о значимости факторов (X_1 , X_2) по вариационным оценкам и их коэффициентов представлена на рис. 5.

Таблица 3. Результаты проверки гипотезы о значимости факторов

№	Фактор	Коэффициенты (b)	Δb	Вывод
1	Y	$b_0=59,3$	$\pm 9,3$	Значим
2	X_1	$b_1=11,4$	$\pm 9,3$	Значим
3	X_2	$b_2=15,8$	$\pm 9,3$	Значим
4	$X_1 X_2$	$b_{12}=1,1$	$\pm 9,3$	Не значим

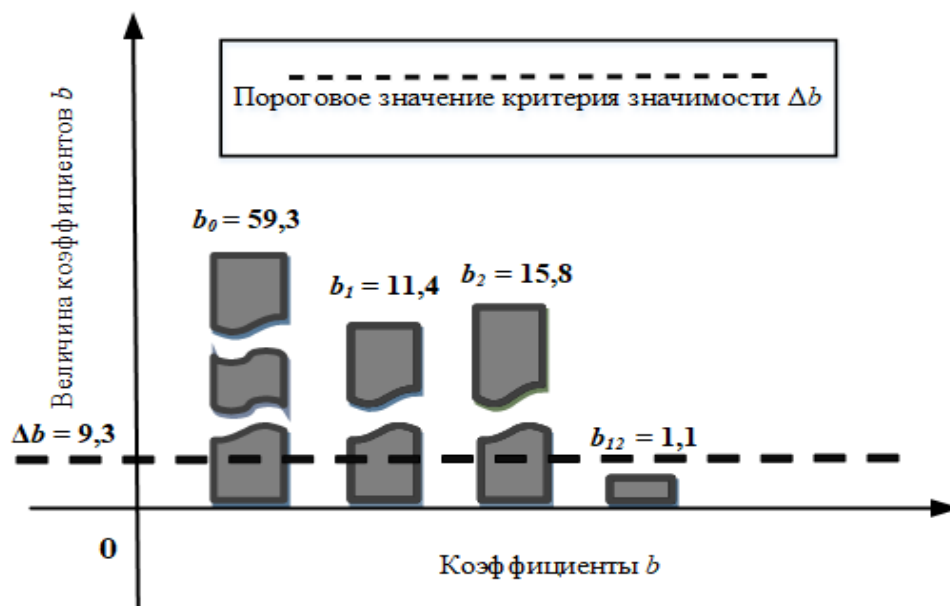


Рис. 5. Результаты проверки значимости факторов

Проведенный анализ полученных результатов проверки гипотезы о значимости факторов линейной регрессионной модели по вариационным оценкам коэффициентов показал, что имеется значимость всех исследуемых

факторов, это исключает игнорирование их взаимосвязи. Тогда функция отклика будет иметь следующий и окончательный вид (7):

$$Y_m = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 = 59,3 + 11,4 X_1 + 15,8 X_2 \quad (7)$$

где X_1 – условие воздействия тепла;

X_2 – условия нулевой видимости;

b_0, b_1, b_2 – выборочные оценки коэффициентов регрессионной модели.

На третьем этапе исследования осуществлялась оценка достоверности предложенной модели [8, 9]. Так как в проведенном эксперименте имеется необходимое количество опытов при требуемых вариациях значений исследуемых факторов, то полученные коэффициенты b не зависят от вторичных свойств рассматриваемой выборки, в связи с этим будут являться лишь выборочными оценками коэффициентов уравнения многофакторной регрессии. Точность и надежность полученных выборочных оценок показывает адекватность гипотезы, которая предусматривает, что коэффициенты b являются искомыми β . Для подтверждения данной гипотезы необходимо было

выполнить статистическую проверку, которая проводилась с помощью критерия Пирсона χ^2 .

Расчетное значение критерия Пирсона χ^2 были найдены по формуле (8):

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(Y_{cp} - Y_m)^2}{Y_m} \quad (8)$$

где Y_m – значение функции отклика и рассчитывается по формуле (7).

Расчетные значения статистической проверки гипотезы занесены в табл. 4. Для оценки адекватности предложенной модели сопоставляем экспериментальные и расчетные данные.

Графическое сравнение экспериментальных и расчетных данных оценки адекватности модели представлены на рис. 6.

Таблица. 4 Результаты проверки адекватности модели

M	Факторы		Оценки функции отклика		
	X_1	X_2	$Y_{cp}, \text{сек}$	$Y_m, \text{сек}$	$\chi^2_j = (Y_{cp} - Y_m)^2 / Y_m$
1	+	+	87,4	86,4	0,012
2	-	+	62,7	63,7	0,017
3	+	-	53,8	54,9	0,020
4	-	-	33,2	32,2	0,034

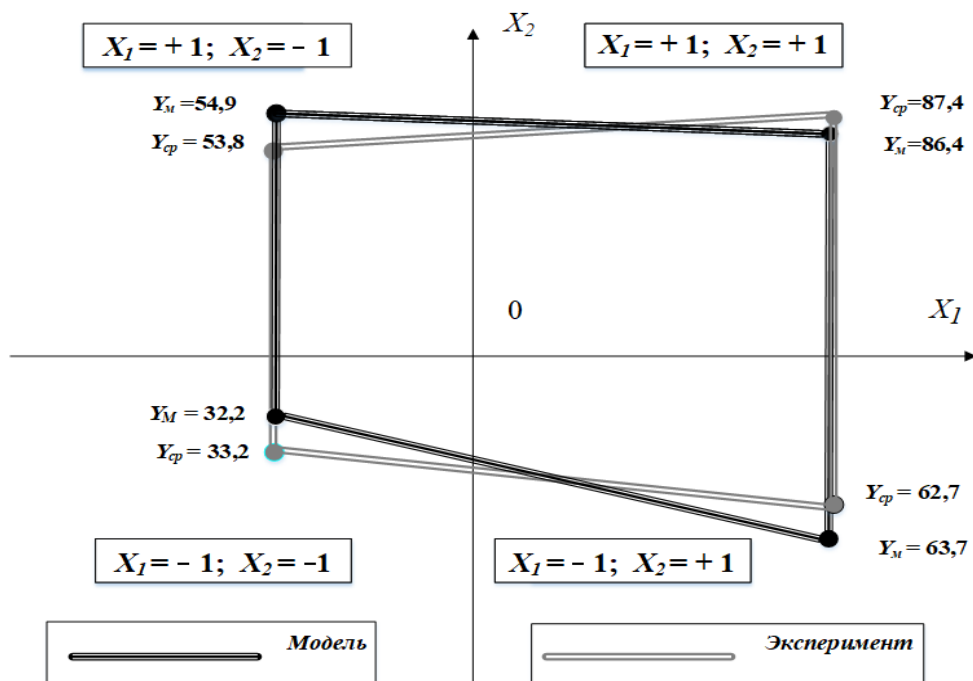


Рис. 6. Сравнение расчетных и экспериментальных данных

Проверка статистической гипотезы по критерию Пирсона χ^2 позволила рассчитать показатель $\chi^2_p=0,084$ при критическом значении данного критерия при уровне значимости $\alpha=0,05$ и количестве степеней свободы $\gamma=3$,

$\chi^2_{крит}=0,58$. Таким образом, $\chi^2_p \leq \chi^2_{крит} \alpha=0,05$, можно делать вывод о том, что с вероятностью $\alpha=0,95$ модель будет являться точной.

Проведенный анализ с применением критерия статистического согласия Пирсона при уровне значимости $\alpha=0,95$, показывает, что зависимость условий видимости и теплового воздействия на время выполнения упражнения хорошо согласуется с линейной двухфакторной моделью с эффектом взаимодействия факторов (9):

$$D = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 = 59,3 + 11,4 X_1 + 15,8 X_2 \quad (9)$$

где X_1 – условия теплового воздействия;

X_2 – условия видимости;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$, – коэффициенты исследуемых факторов.

Заключение

На основе величин коэффициентов при установленных в эксперименте факторах, влияющих на время выполнения упражнения при различных условиях, можно сделать вывод о том, что доминирующее значение при оценке времени выполнения упражнения при различ-

ных условиях принадлежит уровню видимости: чем выше видимость у пожарного при выполнении упражнения по спасению людей с высоты, тем меньше ему требуется времени на выполнение этих действий. Вместе с тем на основании предложенной модели еще одним значимым фактором, от которого зависит время выполнения упражнения, выступает уровень теплового воздействия. Так при повышенной температуре время, затраченное на выполнение упражнения по спасению людей, будет выше, чем в обычных комфортных условиях. Дальнейшее изучение адаптации выполнения упражнений в условиях теплового воздействия и нулевой видимости, а также внедрение полученных результатов в практическую деятельность позволит существенно повлиять на качество работ по тушению пожара.

Проведенное исследование показало необходимость внедрения в систему профессиональной подготовки учений, приближенных к реальным условиям для качественного обучения пожарных. Проведение тренировок в условиях теплового воздействия и, особенно, малой видимости позволит пожарным приобрести устойчивый навык практической работы на пожаре. В этой связи требуется проведение дальнейших исследований по установлению количества и периодичности тренировок личного состава, необходимых для приобретения устойчивых навыков спасения людей в экстремальной ситуации.

Список литературы

1. Иванов М. В. Математическое моделирование аварийной эвакуации людей при пожарах на объектах с массовым пребыванием людей: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18. СПб., 2011. 189 с.
2. Плотников А. С., Седов Д. В. Анализ последствий пожаров на объектах с массовым пребыванием людей и мер, направленных на их смягчение // Научный журнал: XXI век. Техносферная безопасность. 2020. Т. 5, № 1 (17). С. 71–83.
3. Сметанкина Г. И., Романченко С. А. Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности общественных зданий // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1 (7). С. 274–278.
4. Томаков М. В., Томаков В. И. Средства самостоятельной эвакуации (самоспасания) при пожарах и чрезвычайных ситуациях из опасных зон, расположенных на высоте: методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Безопасность

жизнедеятельности» для студентов всех направлений подготовки и специальностей. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2015. 43 с.

5. Пожарно-спасательная подготовка: Часть 1: практическое руководство / С. Г. Казанцев, М. В. Серегин, Р. М. Шипилов [и др.]. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. 248 с. EDN: QCFYSG.

6. Прогнозирование параметров работы участников тушения пожара на примере предприятий текстильной промышленности / Б. Б. Гринченко, Р. М. Шипилов, М. О. Баканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1 (409). С. 164–173.

7. Пожарно-строевая подготовка: учебное пособие / П. В. Чистов, Б. Б. Гринченко, Д. Н. Шалявин [и др.]. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. 204 с.

8. Экспериментальная модель восстановления газодымозащитников с учётом уровня работоспособности и повторности тренировочных нагрузок / Д. Н. Шалявин, Е. А. Шмелева,

А. Д. Ищенко [и др.]. Технологии техносферной безопасности. 2022. № 4 (98). С. 79-95. DOI: 10.25257/TTS.2022.4.98.79-95. EDN: NPUXJF.

9. Михайлов К. А. Модель для информационной поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 2(96). С. 141–150. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.141-150. EDN: MXDXGK.

References

1. Ivanov M. V. Matematicheskoye modelirovaniye ekstremnoy evakuatsii lyudey pri pozharakh na ob'yektakh s massovym prebyvaniyem lyudey. Diss. kand. tekhn. nauk [Mathematical modeling of emergency evacuation of people in case of fires at facilities with a mass presence of people. Cand. tech. sci. diss.]. SPb., 2011. 189 p.

2. Plotnikov A. S., Sedov D. V. Analiz posledstviy pozharov na ob'yektakh s massovym prebyvaniyem lyudey i mer, napravlennykh na ikh smyagcheniye [Analysis of the consequences of fires at facilities with mass presence of people and measures aimed at mitigating them]. *Nauchnyy zhurnal: XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2020, issue 5, vol. 1 (17), pp. 71–83.

3. Smetankina G. I., Romanchenko S. A. Aktual'nyye problemy obespecheniya pozharoy bezopasnosti obshchestvennykh zdaniy [Current issues of fire safety in public buildings]. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoй oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*, 2016, vol. 1 (7), pp. 274–278.

4. Tomakov M. V., Tomakov V. I. *Sredstva samostoyatel'noy evakuatsii (samospasaniya) pri pozharakh i chrezvychaynykh si-tuatsiyakh iz opasnykh zon, raspolozhennykh na vysote: metodicheskiye ukazaniya dlya provedeniya prakticheskikh zanyatiy po distsipline «Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti» dlya studentov vsekh napravleniy podgotovki i spetsial'nostey* [Means of independent evacuation (self-rescue) in case of fires and emergency situations from dangerous areas

located at height] guidelines for conducting practical classes on the subject «Life Safety» for students of all areas of training and specialties]. Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t, 2015. 43 p.

5. *Pozharno-spasatel'naya podgotovka. Chast' 1: prakticheskoye rukovodstvo* [Fire and rescue training. Vol 1: practical guidance] / S. G. Kazantsev, M. V. Seregin, R. M. Shipilov [et al.]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2020. 250 p

6. Prognozirovaniye parametrov raboty uchastnikov tusheniya pozhara na primere predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti [Forecasting the performance parameters of fire extinguishing participants using textile industry enterprises as an example] / B. B. Grinchenko, R. M. Shipilov, M. O. Bakanov [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2024, vol. 1 (409), pp. 164–173.

7. *Pozharno-stroyevaya podgotovka: uchebnoye posobiye* [Fire-fighting drill training: a teaching aid]. P. V. Chistov, B. B. Grinchenko, D. N. Shalyavin [et al.]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2025. 204 p.

8. Eksperimental'naya model' vostanovleniya gazodymozashchitnikov s uchotom urovnya rabotosposobnosti i povtornosti trenirovochnykh nagruzok [Experimental model for the restoration of gas and smoke protectors taking into account the level of performance and repetition of training loads] / D. N. Shalyavin, E. A. Shmeleva, A. D. Ishchenko [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2022, vol. 4(98). pp. 79-95. DOI: 10.25257/TTS.2022.4.98.79-95. EDN: NPUXJF.

9. Mikhailov, K. A. Model' dlya informatsionnoy podderzhki upravleniya pozharnymi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov v zdaniyakh [Model for information support of fire department management when extinguishing fires in buildings]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2022, vol. 2 (96), pp. 141–150. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.141-150. EDN: MXDXGK.

Шалыavin Денис Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: sharap1897@rambler.ru

Shaliavin Denis Nikolaevich

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences, senior lecturer

E-mail: sharap1897@rambler.ru

Шипилов Роман Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат педагогических наук, доцент, заместитель начальника кафедры
E-mail: rim-sgpu@rambler.ru

Shipilov Roman Mihailovich

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

Прокопенко Алексей Николаевич

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий
(в составе УНК АСИТ)
E-mail: Alex_prokop@rambler.ru

Prokopenko Alexey Nikolaevich

Academy of GPS EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information Technology
(as part of the ACC ASIT)
E-mail: Alex_prokop@rambler.ru

Чистов Павел Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель
E-mail: pchistov1982@mail.ru
Pavel Vyacheslavovich Chistov
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: pchistov1982@mail.ru

УДК 614.84

DOI 10.48612/ntp/7akt-7v5z-z6au

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ

Е. А. ШВАРЕВ

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

В статье представлен обзор научных работ, посвященных методам прогнозирования и анализа параметров временных рядов, характеризующих состояние системы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации. С учетом специфики имеющегося временного ряда для моделирования обстановки с пожарами был выбран метод прогнозирования Хольта-Винтерса и разработана математическая прогнозная модель обстановки с пожарами на территории Российской Федерации на основании статистических данных. Моделирование выполнено с учетом трендовой и сезонной составляющей в три этапа. На первом этапе на основании имеющихся статистических данных о количестве пожаров, произошедших в 2020–2023 гг. на территории Российской Федерации, разработана математическая модель. Она была оптимизирована путем варьирования параметров по критерию минимизации ошибки прогнозирования. На втором этапе было выполнено помесечное прогнозирование на период с января по декабрь 2024 года. На третьем этапе была выполнена проверка адекватности разработанной модели путем сравнения прогнозных значений с фактическими значениями временного ряда. Средняя относительная ошибка разработанной прогнозной модели составила 0,05, что свидетельствует о возможности применения данной модели для целей прогнозирования обстановки с пожарами.

Ключевые слова: обстановка с пожарами, прогнозирование, математическая модель.

IMPROVING METHODS FOR FORECASTING FIRE-RELATED SITUATIONS

E. A. SHVAREV

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: e_shvarev@inbox.ru

The article presents an overview of scientific works devoted to methods of forecasting and analysis of time series parameters characterizing the state of the fire safety system in the Russian Federation. Taking into account the specifics of the available time series, the Holt-Winters forecasting method was chosen for modeling the fire situation, and a mathematical forecasting model of the fire situation in the Russian Federation was developed based on statistical data. The modeling was performed in three stages, taking into account the trend and seasonal components. At the first stage, a mathematical model was developed based on available statistical data on the number of fires that occurred in the Russian Federation in 2020-2023. The developed model was optimized by varying the model parameters to minimize the prediction error. At the second stage, a monthly forecast was made for the period from January to December 2024. At the third stage, the adequacy of the developed model was checked by comparing the forecast values with the actual values of the time series. The error of the developed forecast model was 0,05, which indicates that this model can be used for forecasting fire situations.

Key words: fire situation, forecasting, mathematical model.

Введение

Грамотное планирование противопожарных мероприятий возможно только на основании качественного анализа основных тенденций обстановки с пожарами, складывающейся на определенной территории в течение некоторого временного интервала [1, 2, 3]. При этом важной задачей является не только объективная оценка текущей обстановки с пожарами, но и разработка прогноза для последующего временного периода. Для решения задачи прогнозирования могут быть использованы методы анализа и прогнозирования временных рядов.

Вопросам прогнозирования различных параметров, характеризующих эффективность функционирования системы обеспечения пожарной безопасности, в последние годы было посвящено достаточное количество работ.

В частности, в работе [4] уделено внимание разработке математической модели времени тушения пожара в сельской местности Российской Федерации по методу экспоненциального сглаживания. Объектом моделирования являлся временной ряд времени тушения пожара в сельской местности. Отметим, что прогнозное значение для конкретного временного периода было получено путем сглаживания двух предыдущих фактических значений временного ряда. Авторами работы указано, что наименьшая ошибка модели достигнута при коэффициенте сглаживания равном 0,9999. При таком коэффициенте сглаживания, представленная модель фактически учитывает не два предыдущих, а только одно предыдущее значение временного ряда. Таким образом, заявленная модель экспоненциального сглаживания фактически является простейшей прогнозной моделью типа «будет как было», которая не может быть применена для прогнозирования процессов, подверженных резким колебаниям и изменениям.

Работа [5] посвящена вопросу математического моделирования временного ряда гибели людей при пожарах на территории Российской Федерации. В данной работе моделирование временного ряда было выполнено с помощью ряда математических моделей: линейной, гиперболической, показательной, Перла-Рида, Гомпертца, Гомпертца-Мейкхама, Вейбулла, модели Парето, Эрланга. Все представленные модели являются аналитическими и хорошо моделируют процессы, которые не подвержены резким изменениям и носят стабильный характер на достаточно длительном временном интервале, однако не применимы при моделировании процессов, подверженных резким изменениям.

В работе [6] было установлено наличие связи между числом городских пожаров и порядковым номером года в регионах Российской Федерации. Данная работа посвящена вопросу установления корреляционной связи между числом пожаров в городах и временным периодом, а вопросы прогнозирования в ней не рассматривались.

Авторами исследования [7] разработан ряд математических моделей количества пожаров в Свердловской области: линейная, гиперболическая, степенная, показательная, логарифмическая, логистическая, Гомпертца, Гомпертца-Мейкхама. Также, как и модели, представленные в работе [5], данные модели относятся к классу аналитических и не могут быть применены для прогнозирования процессов, для которых характерны резкие изменения.

В работе [8] был исследован вопрос устойчивости в статистическом прогнозировании количества пожаров в регионах Российской Федерации. Авторами данного исследования был установлен факт наличия сильной зависимости между числом пожаров и порядковым номером года в регионах Российской Федерации и сделан вывод об обоснованности применения методов теории временных рядов в математическом прогнозировании числа пожаров. Однако, как и в работе [6] вопросы прогнозирования в данной работе не рассматривались.

В работе [9] рассмотрена возможность среднесрочного прогнозирования интегрального пожарного риска для жилого сектора регионов России. В данной работе была построена прогнозная модель, в которой целевой функцией прогнозирования выступал интегральный пожарный риск. Моделирование было выполнено с помощью ряда моделей, в том числе на основе модели авторегрессии, относительная ошибка прогноза которой составила 0,076.

Несмотря на то, что названные работы представляют несомненный интерес, отмеченные выше особенности накладывают определенные ограничения на область их практического применения.

Целью настоящего исследования было совершенствование методов прогнозирования обстановки с пожарами на территории Российской Федерации.

Разработка прогнозной модели

Исходными данными для целей настоящего исследования были взяты данные по количеству пожаров, произошедших на территории Российской Федерации за период 2020–2024 гг.¹ (рис. 1).

¹ Пожары и пожарная безопасность в 2024 году. Статистика пожаров и их последствий: информационно-

аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025, 112 с.

Отличительной особенностью моделируемого временного ряда является то, что он характеризуется значительными колебаниями, а его значения подвержены резким скачкообразным изменениям. Таким образом, прогнозные модели, предложенные в работах [4, 5, 6,

7, 8, 9] не могут быть использованы для целей настоящего исследования. Однако, временные ряды, подобные имеющемуся, могут быть достаточно адекватно смоделированы с помощью адаптивных методов прогнозирования, таких как модели Брауна, Хольта, Хольта-Винтерса.

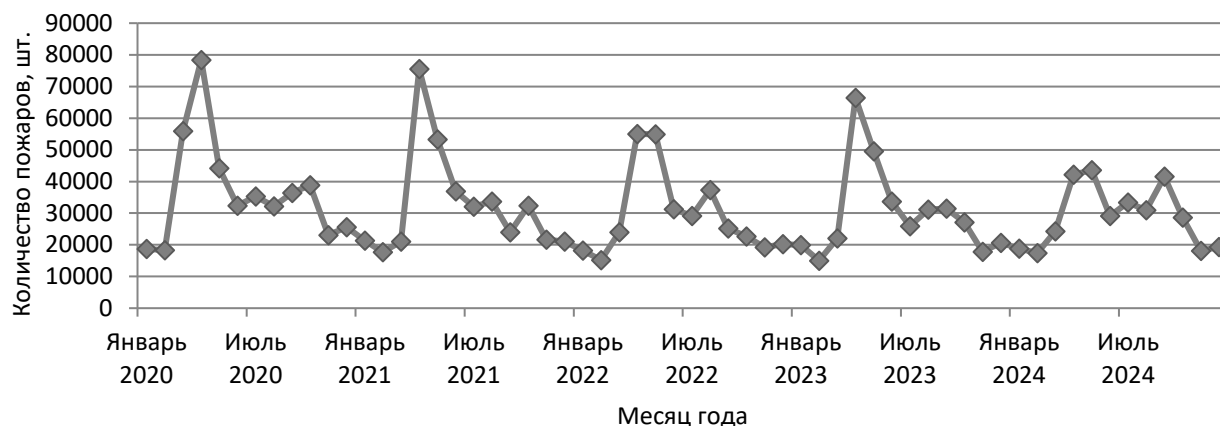


Рис. 1. Количество пожаров в Российской Федерации в 2020-2024 гг. по месяцам года

Из теории временных рядов известно, что в общем случае в структуре временного ряда могут присутствовать трендовая, сезонная и случайная составляющие [10, 11, 12].

Из представленных на рис. 1 данных видно, что в исследуемом временном ряду присутствует выраженная сезонность с максимумами в апреле и минимумами в феврале. Исходя из этого было принято решение для моделирования имеющегося временного ряда учитывать как трендовую, так и сезонную компоненту.

Разработка прогнозной модели в представленном исследовании осуществлялась в три этапа. На первом этапе была разработана и оптимизирована модель временного ряда на временном интервале с января 2020 года до декабря 2023 года.

С целью построения прогнозной модели для каждого уровня временного ряда были вычислены значения экспоненциально-сглаженного ряда:

$$L_t = k \cdot \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - k) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1}), \quad (1)$$

где L_t — значения экспоненциально-сглаженного ряда, Y_t — значения фактических уровней временного ряда, T_{t-1} — значения трендовой составляющей для предыдущего уровня временного ряда, S_{t-s} — значения сезонной составляющей временного ряда, k — коэффициент сглаживания.

Значения трендовой составляющей временного ряда были определены по формуле:

$$T_t = b \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - b) \cdot T_{t-1} \quad (2)$$

Сезонная составляющая была вычислена по формуле:

$$S_t = q \cdot Y_t / L_t + (1 - q) \cdot S_{t-s} \quad (3)$$

На втором этапе вычислялись прогнозные значения для следующего временного периода:

$$Y_{t+p} = (L_t + p \cdot T_t) \cdot S_{t-s+p} \quad (4)$$

Полученная модель временного ряда была оптимизирована с помощью управляющих параметров k и b путем варьирования их значений в диапазоне от 0 до 1. В таблице представлены значения точности разработанной прогнозной модели в зависимости от заданных значений управляющих коэффициентов. Все вычисления при построении математической модели были выполнены в среде статистической обработки данных R.

Из таблицы следует, что наибольшей точности (0,96) удастся добиться при значениях управляющих коэффициентов равных 0,9 и 0,1.

На рис. 2 представлены графики динамики количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2020-2023 гг. по месяцам года и прогнозной модели.

Таблица. Оптимизационная матрица прогнозной модели

$k \backslash b$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	0,81	0,75	0,79	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95
0,1	0,81	0,6	0,74	0,83	0,88	0,91	0,93	0,95	0,95	0,96	0,95
0,2	0,81	0,61	0,77	0,85	0,89	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
0,3	0,81	0,62	0,79	0,85	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
0,4	0,81	0,63	0,79	0,83	0,86	0,9	0,93	0,94	0,94	0,94	0,92
0,5	0,81	0,64	0,77	0,83	0,84	0,89	0,92	0,93	0,93	0,92	0,91
0,6	0,81	0,67	0,71	0,71	0,83	0,89	0,91	0,92	0,92	0,91	0,89
0,7	0,81	0,7	0,61	0,64	0,82	0,87	0,9	0,91	0,91	0,89	0,86
0,8	0,81	0,71	0,46	0,62	0,82	0,86	0,88	0,9	0,89	0,87	0,84
0,9	0,81	0,7	0,25	0,63	0,81	0,84	0,87	0,88	0,87	0,84	0,81
1,0	0,81	0,64	0,01	0,66	0,79	0,82	0,86	0,87	0,85	0,82	0,78

Количество пожаров,
шт.

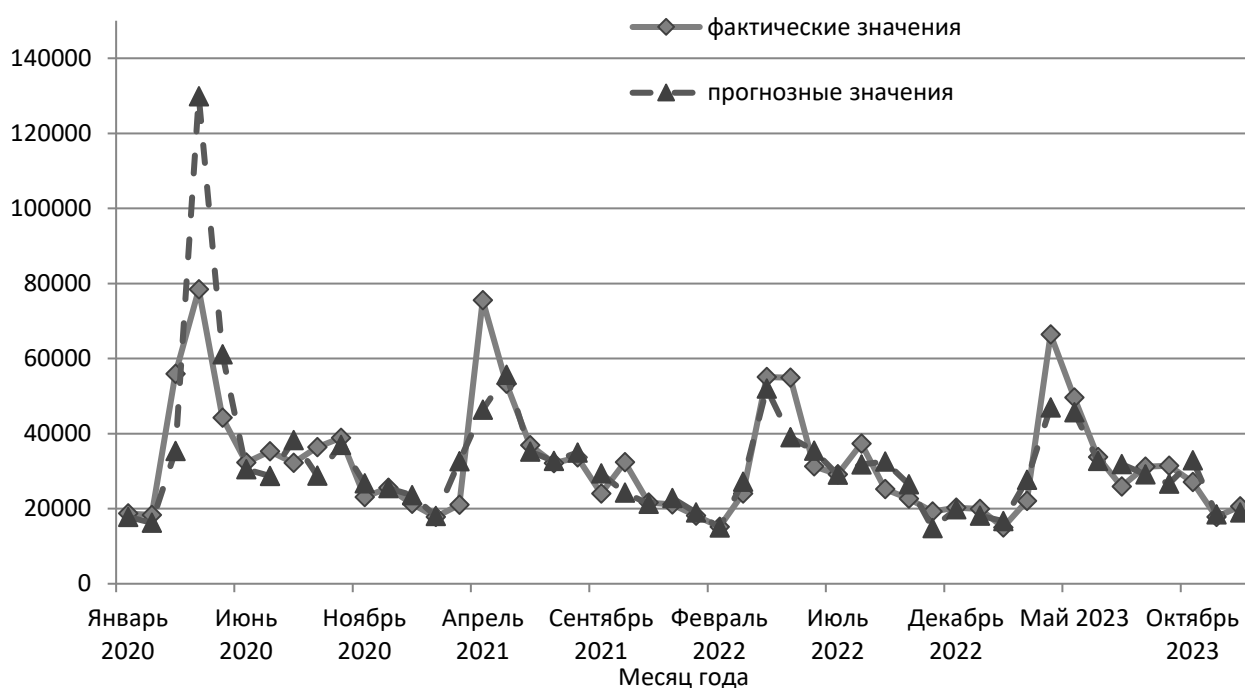


Рис. 2. Динамика количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2020-2023 гг. по месяцам года (фактические и прогнозные значения)

На третьем этапе была проведена проверка адекватности разработанной прогнозной модели посредством сравнения прогнозных и фактических значений на временном интервале с января по декабрь 2024 года. Точность

предложенной модели составила 0,95. На рис. 3 представлены графики динамики количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2024 году по месяцам и прогнозной модели.

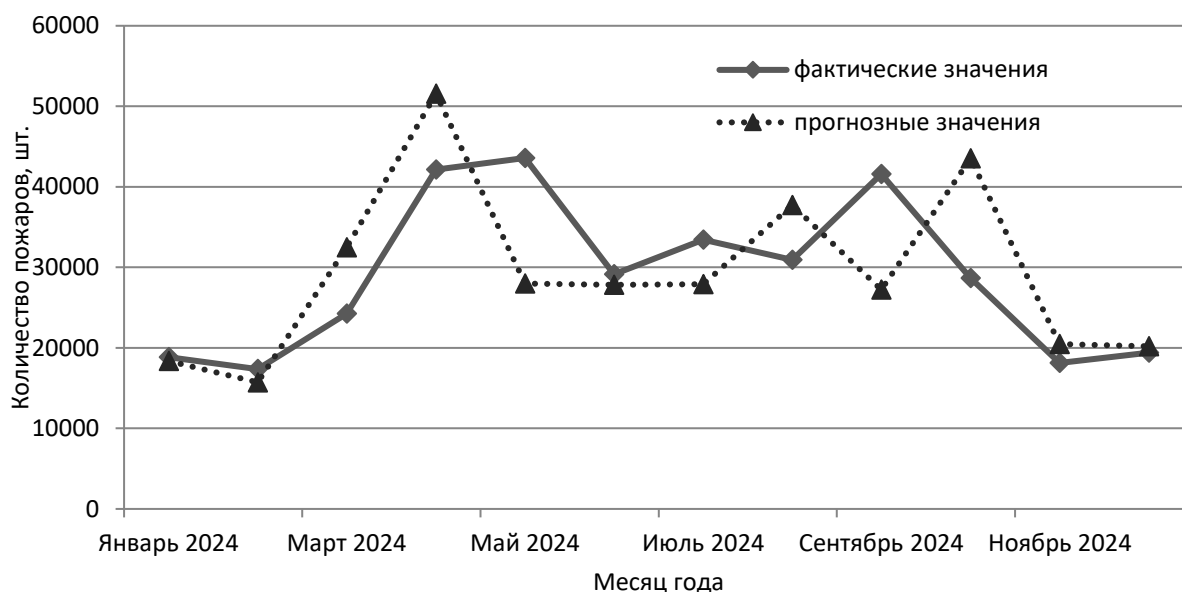


Рис. 3. Динамика количества пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2024 году по месяцам года (фактические и прогнозные значения)

Заключение

Проведен аналитический обзор актуальных литературных источников по теме прогнозирования обстановки с пожарами. На основе статистических данных о количестве пожаров, произошедших на территории Российской Федерации в 2020–2024 годах построена математическая прогнозная модель. Предложенная модель оптимизирована по критерию достижения максимальной точности на указанном

временном интервале с помощью варьирования управляющих коэффициентов модели. Точность прогноза математической модели составила 0,95. Разработанная математическая модель может быть полезна в практической деятельности органов государственного пожарного надзора при оценке актуальных тенденций и прогнозировании обстановки с пожарами на территории Российской Федерации.

Список литературы

1. Моделирование взаимосвязей ресурсы противопожарной службы – характеристики пожарной безопасности / А. В. Матюшин, В. А. Минаев, А. И. Овсяник [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25, № 11. С. 62–70.
2. Обстановка с пожарами в мире в начале XXI века / М. Арнс, Н. Н. Брушлинский, П. Вагнер [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 10. С. 51–58.
3. Методологические подходы к сравнительной оценке обстановки с пожарами в Российской Федерации и США (Часть 2) / Н. Н. Брушлинский, Е. С. Кузнецова, О. В. Кружкова [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 4. С. 48–54.
4. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И., Калач Е. В. Применение метода экспоненциального сглаживания для прогноза среднего времени тушения пожара в сельской местности Российской Федерации // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2018. № 2 (27). С. 65–69.

5. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Математическое моделирование временного ряда гибели людей при пожарах на территории российской федерации // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 16–31.

6. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Наличие зависимости числа городских пожаров в регионах Российской Федерации от времени // Техносферная безопасность. 2019. № 3 (24). С. 3–11.

7. Кайбичев И. А., Тужиков Е. Н. Математическая модель количества пожаров в Свердловской области // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 30–37.

8. Устойчивость в статистическом прогнозировании количества пожаров в регионах Российской Федерации / А. В. Калач, И. А. Кайбичев, А. М. Тарарыкин [и др.] // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». 2020. С. 840–846.

9. Тростянский С. Н., Тростянский А. С., Куприенко П. С. Среднесрочное прогнозирование

интегрального пожарного риска R1 для жилого сектора регионов России // Вестник Воронежского института МВД России. 2024. № 2. С. 53–62.

10. Brown R. G. 1956. Exponential Smoothing for Predicting Demand. 10th National Meeting of the Operations Research Society of America, San Francisco.

11. Winters P. 1960. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science. 6: 324–342.

12. Forecasting: Principles and Practice by Rob J. Hyndman. <https://otexts.org/fpp2/>.

References

1. Modelirovanie vzaimosvyazey resursy protivopozharnoj sluzhby – harakteristiki pozharnoj bezopasnosti [Modeling the relationship between fire service resources and fire safety characteristics] / A. V. Matyushin, V. A. Minaev, A. I. Ovsyanik [et al.]. *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2016, vol. 11, pp. 62–70.

2. Obstanovka s pozharami v mire v nachale XXI veka [The global fire situation at the beginning of the 21st century] / M. Arens, N. N. Brushlinskij, P. Vagner [et al.]. *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2015, vol. 10, pp. 51–58.

3. Metodologicheskie podhody k sravnitel'noj ocenke obstanovki s pozharami v Rossijskoj Federacii i SSHA (CHast' 2) [Methodological approaches to comparative assessment of the fire situation in the Russian Federation and the United States (Part 2)] / N. N. Brushlinskij, E. S. Kuznetsova, O. V. Kruzhkova [et al.]. *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*, 2018, vol. 4, pp. 48–54.

4. Kajbichev I. A., Kajbicheva E. I., Kalach E. V. Primenenie metoda eksponential'nogo sglazhivaniya dlya prognoza srednego vremeni tusheniya pozhara v sel'skoj mestnosti Rossijskoj Federacii [Application of the exponential smoothing method to forecast the average fire extinguishing time in rural areas of the Russian Federation]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii*, 2018, vol. 2 (27), pp. 65–69.

5. Kajbichev I. A., Kajbicheva E. I. Matematicheskoe modelirovanie vremennogo ryada gibeli lyudej pri pozharah na territorii rossijskoj federacii [Mathematical modeling of the time series of fire fatalities in the Russian Federation]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2019, vol. 4 (25), pp. 16–31.

6. Kajbichev I. A., Kalimullina K. I. Nalichie zavisimosti chisla gorodskih pozharov v regionah Rossijskoj Federacii ot vremeni [The presence of a dependence of the number of urban fires in the regions of the Russian Federation on time]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2019, vol. 3 (24), pp. 3–11.

7. Kajbichev I. A., Tuzhikov E. N. Matematicheskaya model' kolichestva pozharov v Sverdlovskoj oblasti [A mathematical model of the number of fires in the Sverdlovsk region]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2020, vol. 3 (28), pp. 30–37.

8. Ustojchivost' v statisticheskom prognozirovanii kolichestva pozharov v regionah Rossijskoj Federacii [Robustness in statistical forecasting of the number of fires in the regions of the Russian Federation] / A. V. Kalach, I. A. Kajbichev, A. M. Tararykin [et al.]. Aktual'nye problemy prikladnoj matematiki, informatiki i mekhaniki: sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Voronezh: FGBOU VO «Voronezhskij gosudarstvennyj universitet», 2020. Pp. 840–846.

9. Trostyanskij S. N., Trostyanskij A. S., Kuprienko P. S. Srednesrochnoe prognozirovanie integral'nogo pozharnogo riska R1 dlya zhilogo sektora regionov Rossii [Medium-term forecasting of the integrated fire risk R1 for the residential sector of Russian regions]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*, 2024, vol. 2, pp. 53–62.

10. Brown R. G. 1956. Exponential Smoothing for Predicting Demand. 10th National Meeting of the Operations Research Society of America, San Francisco.

11. Winters P. 1960. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Management Science. 6: pp. 324–342.

12. Forecasting: Principles and Practice by Rob J. Hyndman. <https://otexts.org/fpp2/>.

Шварев Евгений Анатольевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Shvarev Evgeny Anatolevich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

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

УДК 666.9-13 : 691.335
DOI 10.48612/ntp/9229-dha3-rz2n

**СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ
СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, А. А. ОВЧИННИКОВ², Д. В. ОБРУЧЕВ¹, С. В. ГЕРГИШАН²

¹Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

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

E-mail: varrym@gmail.com, nisigasa@mail.ru, d.v.obruchev@i-meb.ru, gergishmpower@mail.ru

В статье приводятся результаты исследований влияния минералогической и фазовой структуры на свойства жаростойких материалов на различной основе, применяющихся для огнезащиты строительных конструкций в целях повышения их огнестойкости. Установлено, что в зависимости от состава и концентрации исходных материалов, используемых как для создания вяжущего, так и различных композитов на его основе, формируются как продукты реакций, так и основные огнезащитные свойства покрытий. Авторами представлены результаты рентгенофазового анализа огнезащитных составов до и после первого обжига для обоснования гипотезы создания композиционного вяжущего на основе глиноземистого цемента и жидкого стекла. Приведены расшифровки физико-химической структуры композитов, сделаны выводы о зависимости физико-механических свойств материала от морфологических факторов и о возможности направленного синтеза огнеупорных новообразований, способных сформировать оптимальную фазовую структуру огнеупора.

Ключевые слова: огнезащита, композиционные материалы, строительные конструкции, жаростойкий бетон, морфология, фазовый состав, структура.

**STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL FACTORS OF FORMATION OF PROPERTIES
OF FIREPROTECTIVE COATINGS OF BUILDING STRUCTURES**

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, A. A. OVCHINNIKOV², D. V. OBRUCHEV¹, S. V. GERGISHAN²

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo

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

E-mail: varrym@gmail.com, nisigasa@mail.ru, d.v.obruchev@i-meb.ru, gergishmpower@mail.ru

The article presents the results of studies on the influence of the mineralogical and phase structure on the properties of heat-resistant materials based on various materials, which are used for fire protection of building structures in order to increase their fire resistance. It has been established that, depending on the composition and concentration of the initial materials used for both the creation of the binder and various composites based on it, both the reaction products and the main fire-resistant properties of the coatings are formed. The authors have proposed the results of X-ray phase analysis of fire-resistant compositions before and after the first firing to support the hypothesis of creating a composite binder based on alumina cement and liquid glass. The article provides an interpretation of the physical and chemical structure of composites and draws conclusions about the dependence of the material's physical and mechanical properties on

morphological factors and the possibility of directed synthesis of refractory formations that can form an optimal phase structure of the refractory material.

Key words: fire protection, composite materials, building structures, heat-resistant concrete, morphology, phase composition, structure.

Введение

Совершенствование существующих средств обеспечения пожарной и промышленной безопасности, а также создание условий для безопасности персонала, работающего на производственных предприятиях, остается актуальной научной задачей. Методы повышения огнестойкости строительных конструкций промышленных предприятий направлены на достижение требуемого предела огнестойкости (R, RE, EI), указанного в нормативных документах (ст. 87 ФЗ-123 и таблице 21 к нему).

Выбор метода чаще всего зависит от типа конструкции, материала из которого она изготовлена, требуемого времени огнестойкости, экономической эффективности и условий эксплуатации.

Для стальных несущих конструкций, характеризующихся тем, что при температурах выше 500 °С их прочность резко падает, и они теряют несущую способность, основной задачей становится замедление нагрева стального элемента. Для это чаще всего применяют огнезащитные облицовки, огнезащитные штукатурки и тонкослойные огнезащитные покрытия.

К огнезащитным облицовкам относятся способы экранирования конструкции материалами с низкой теплопроводностью, такие как обетонирование, т.е. нанесение слоя бетона по армирующей сетке. Тяжелый, но очень надежный и долговечный метод. Часто используется для колонн. Кроме того, применяют облицовку кирпичной кладкой или футеровкой из мелкоштучных элементов, что применяется реже из-за трудоемкости. Разработан способ ограждения конструкций гипсокартоном: использование специальных гипсоволокнистых (ГВЛ) или гипсокартонных (ГКЛО) листов в несколько слоев на металлическом каркасе. Этот способ обеспечивает предел огнестойкости до REI 150 и более. Имеет высокий экономический эффект из-за скорости монтажа и чистоты работ. Также относительно широко применяют сборные огнезащитные короба и панели: готовые решения из вермикулитовых, перлитовых или гипсовых плит. Монтируются быстро, часто используются для сложных по форме элементов [1].

Огнезащитные штукатурки или теплоизоляционные покрытия на основе вермикулита, перлита или фосфатов наносятся методом мокрого торкретирования или вручную. Создается пористый теплоизолирующий слой. Это позволяет защищать конструкции сложной

формы. Толщина слоя рассчитывается исходя из требуемого предела огнестойкости [2].

В последние годы широко применяются тонкослойные огнезащитные покрытия, такие как огнезащитные краски, лаки, пасты. Их принцип действия в основном заключается в том, что при нагреве такие покрытия вспучиваются, образуя многократно (в 10-50 раз) утолщенный пористый коксовый слой с низкой теплопроводностью, который защищает металл от нагрева. Преимуществами таких покрытий является тот факт, что они не изменяют геометрию конструкции, легко наносятся на сложные поверхности. Однако зачастую эти покрытия требуют тщательной подготовки поверхности (очистка, грунтование), могут быть чувствительны к условиям эксплуатации (влажность, механические воздействия) [3].

Железобетон обладает собственной огнестойкостью, но она может быть недостаточной. Основная опасность – прогрев и потеря прочности арматурой и растрескивание бетона из-за термических деформаций при неравномерном прогреве. Кроме того, матрица конструкции – растворная составляющая железобетона уже после прогрева подвержена повторной гидратации свободной извести, образующейся при прогреве конструкции выше 700 °С. Наиболее популярным методом увеличения огнестойкости железобетонных конструкций является способ увеличения толщины защитного слоя бетона. Это самый простой и надежный способ. Нормируемая толщина защитного слоя до рабочей арматуры напрямую указана в СП 2.13130.2020, так для получения огнестойкости R 45–R 90 требуется от 25 до 50 мм в зависимости от типа элемента и агрессивности среды.

Также как и для стальных конструкций для железобетонных используют огнезащитную облицовку. Ее применяют если невозможно увеличить сечение элемента по объемно-планировочным соображениям.

Для особо опасных производственных объектов применяется различная модификация бетона активными наполнителями. Применяют специализированные жаростойкие бетоны на основе портландцемента с добавками (барит, железная руда) или глиноземистого цемента, добавляют в бетонную смесь полипропиленовую фибру, которая при нагреве плавится, создавая в бетоне микроканалы, через которые выходит пар, предотвращая взрывное отслоение бетона (спаллинг).

На объектах промышленности используются отдельные ограждающие элементы и отделка из древесины, которые также требуют огнезащиты. Основная задача огнезащиты конструкций из древесины – замедлить возгорание и распространение пламени. В основном применяются глубокая пропитка в автоклавах или поверхностное нанесение специальными составами (антипиренами). Они препятствуют возгоранию и замедляют горение. Также используют огнезащитное покрытие негорючими листами и огнезащитные краски и лаки, которые образуют на поверхности прозрачную или непрозрачную пленку, которая вспучивается при пожаре, изолируя древесину от огня [4–5].

Для всех видов конструкций для повышения их огнестойкости применяют следующие проектные решения:

- размещение конструкций: увод наиболее важных несущих элементов (колонн, опор) из зон возможного воздействия пламени;
- проектирование с учетом огня: заранее заложенные решения, например, увеличение сечений элементов, применение более высоких марок бетона и стали;
- система активной пожарной защиты: не повышает предел огнестойкости самой конструкции, но позволяет снизить тепловое воздействие на нее. Установки автоматического пожаротушения охлаждают конструкции и локализируют пожар, фактически предотвращая достижение критических температур. Это учитывается в современных расчетных методах (еврокоды).

Применение того или иного метода должно быть экономически оправдано, исходя из рисков возникновения пожара. Поэтому не всегда целесообразно применение отдельных видов защиты для всех конструктивных элементов промышленных зданий и сооружений. Зачастую, специальным видам проектирования, изготовления и огнезащитной обработки, должны быть подвергнуты наиболее ответственные конструкции или изделия, подвергающиеся наибольшему риску при возникновении пожара. Вместе с тем, практика показывает, что здания и сооружения проектировавшиеся под одни цели, переводятся для выполнения иных задач – так промышленные объекты в центре городов реорганизуются в торговые центры, цеха с низким риском пожаров под склады с легковоспламеняющимися материалами. Подобное переустройство отдельных помещений или зданий под новые условия эксплуатации требуют изменения характеристик огнестойкости уже существующих конструкций. С нашей точки зрения наиболее целесообразно для увеличения огнестойкости существующих конструкций применять огнезащитные покрытия, так как они обеспечивают максимально широкий выбор как

материалов, так методов их нанесения на конструкции.

Принцип создания таких покрытий заключается в подборе связующего, заполнителей и добавок, которые бы обеспечили необходимые эксплуатационные качества покрытия – высокую адгезию к материалу конструкции, низкую теплопроводность, достаточно высокую жаростойкость или, при необходимости, огнеупорность, а также термостойкость и долговечность.

Теплотехнические характеристики, как правило, обеспечивает заполнитель, а физико-механические – связующие и наполнитель. В этой связи была поставлена задача проанализировать и обосновать выбор наиболее эффективного вяжущего вещества, для целей создания огнезащитного покрытия несущих конструкций промышленных объектов. Авторы исходили из представления, что промышленные объекты даже после высокотемпературного воздействия должны быть пригодны для эксплуатации, поэтому рассматривались только неорганические связки. Свойства таких веществ меняются при изменении термодинамических условий в связи с изменением как их структуры, так и минералогического состава. Структурно-морфологические факторы, изменяющиеся при нагревании композиций, будут формировать основные физико-механические свойства огнезащитного покрытия [6]. Основным средством для анализа минералогического и фазового состава результатов твердения и обжига вяжущих веществ, являлся термогравиметрический и рентгенофазовый методы.

Методика исследования

Для определения промежуточных и конечных фаз в гидратированном глиноземистом цементе при воздействии различных температур, были проведены поисковые эксперименты, в которых использовался цемент глинозёмистый ГЦ-35 40 ГОСТ 969-2019 с содержанием Al_2O_3 – 35,5 %, с активностью – 39,5 МПа, нормальной плотностью – 27,3 %, тонкостью помола по Товарову – 3650 $см^2/г$, остатком на сите № 008–11 %. Из него изготавливали образцы-кубы с гранью 2 см из цементного теста нормальной плотности, которые твердели в воздушно-влажных условиях при относительной влажности воздуха более 50 % в течение 6 ч. Затем образцы помещали в воду и испытывали через 72 ч твердения. Всего изготавливалось по 6 штук образцов-кубов для каждого вида испытаний. Полученные результаты подвергались статистической обработке, для исключения случайных значений и определения основных статистических моментов.

Обжиг образцов проводился после сушки до постоянного веса при температуре 110 ± 5 °С в лабораторной муфельной печи при

температурах 300, 600, 1000 и 1200 °С. До обжига и после определялись физико-механические и химико-минералогические свойства вяжущего. Для выяснения протекающих фазовых термических превращений были проведены исследования с помощью рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-3. Расшифровка осуществлялась по базам Inorganic Crystal Structure Database (ICSD), Powder Diffraction File (DFP), Crystallography Open Database (COD).

Результаты исследования и их обсуждения

Наиболее распространенным минеральным вяжущим веществом, применяемым, в том числе для создания жаростойких композиций, является портландцемент. Уже в первых исследованиях И. А. Жидкевича, отраженных в работе «Бетоны и бетонные работы» отмечено, что наилучшим вяжущим по огнестойкости в конструкциях является портландцемент. Начиная с 1930-х годов советскими исследователями В. М. Москвиным и В. В. Кураевым [7] были начаты работы по изучению свойств бетона на портландцементе при воздействии на него высоких температур. Первые исследования показали целесообразность выбранного направления. Позднее рядом ученых П. П. Будниковым [8], Г. М. Руцком [9], И. Е. Гурвичем [10-11] и другими были исследованы вопросы влияния высоких температур на цементный камень.

Начало систематических и всесторонних исследований положено в Центральном научно-исследовательском институте промышленных сооружений (ЦНИИПС) в 1942 г. К. Д. Некрасовым. Затем эти работы продолжались под его руководством в лаборатории жаростойких бетонов и конструкций НИИЖБ Госстроя СССР [12-13]. Работы под руководством К. Д. Некрасова позволили выявить физико-химические процессы, происходящие в цементном камне при воздействии высоких температур. Определены основные физико-механические свойства жаростойких композиций. В частности установлено, что портландцемент, представленный основными клинкерными минералами C_3S (алит – $3CaO \cdot SiO_2$), C_2S (белит – $2CaO \cdot SiO_2$), C_3A (трекальциевый алюминат – $3CaO \cdot Al_2O_3$), C_4AF (целлит – $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) при гидратации формирует гидратные фазы, такие как гель гидросиликата кальция (C-S-H gel), $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$ (нестехиометричен с переменным соотношением Ca/Si). Гель представляет собой аморфную или слабокристаллическую фазу и является основной связующей формой, обеспечивающей прочность цементного камня. Составляет порядка ~50-70 % объема.

Следующей по объему фазой, кристаллизующейся в глобулах пор геля является портландит, $Ca(OH)_2$. Эта кристаллическая фаза образуется в результате гидратации C_3S и C_2S и составляет ~15-25 % объема. Придает щелочность среде (pH ~12.5-12.8), что защищает арматуру от коррозии, но является химически неустойчивой.

Другими фазами, формирующимися при гидратации являются гидросульфоалюминаты кальция; эттрингит и моносulfатная. Эттрингит $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ в виде игольчатых кристаллов, образуется на ранних стадиях гидратации и является опасным минералом, приводящим к сульфатной коррозии. Моносulfат: $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ образуется позже из эттрингита. Эти фазы влияют на скорость схватывания и раннюю прочность.

Прочие фазы представлены гидрогранатами (C_3AH_6), которые могут образовываться при гидратации C_3A в отсутствие гипса, и ферритные фазы – продукты гидратации C_4AF , похожие на алюминатные, но с участием железа.

Итоговый состав гидратированного цемента: в основном аморфный C-S-H гель, пронизанный кристаллами портландита $Ca(OH)_2$ и кристаллами сульфоалюминатов.

При нагревании цементного камня от температуры эксплуатации до 1000 °С при дериватографических исследованиях выделяют этап дегидратации в интервале температур 100–600 °С и этап высокотемпературных превращений и синтеза (800–1000 °С). В промежутке 600–800 °С идут процессы термического разложения примесей, иногда образования эвтектик легкоплавких материалов – плавней.

На стадии дегидратации и разложения (100–600 °С) происходит удаление (сушка) свободной не связанной воды, исчезают все гидратные фазы, они теряют химическую связанную воду. C-S-H гель разлагается на безводный силикат кальция (C_2S) и аморфный кремнезем. Портландит $Ca(OH)_2$ разлагается при ~400–500 °С на CaO (негашеная известь) и воду H_2O . Эттрингит и моносulfат полностью разлагаются с выделением SO_2 и H_2O .

К этому моменту стадии высокотемпературных превращений и синтеза (800–1000 °С) система представляет собой смесь высокореакционных оксидов: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Начинаются процессы твердофазного синтеза. Основные образующиеся фазы:

– Волластонит (Pseudowollastonite, α - $CaSiO_3$). Основной продукт взаимодействия CaO (из разложившегося портландита) и SiO_2 (из разложившегося C-S-H геля). Температура плавления ~1540 °С. Является основной фазой силикатных материалов.

– Ларнит (Belite , β - или α' - Ca_2SiO_4). Это часть исходного белита из клинкера, который не успевает прореагировать при гидратации и остается. Также может образовываться заново. При охлаждении ниже 675°C претерпевает полиморфное превращение с увеличением объема, что может приводить к растрескиванию.

– Алит (Ca_3SiO_5) может частично сохраняться от исходного клинкера, но в основном образуется заново при температурах выше 1000°C из смеси CaO и SiO_2 . При $800\text{--}900^\circ\text{C}$ его образование еще ограничено.

– Известь (CaO). Продукт разложения портландита. При этих температурах еще не успевает полностью прореагировать с кремнеземом и присутствует в свободном виде. Его наличие – причина разрушения композиций на портландцементе после высокотемпературного воздействия, так как при последующем контакте с водой он гасится ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$), увеличиваясь в объеме и разрушая материал.

Промежуточные алюминаты и ферриты кальция – могут образовывать фазы типа геленаита ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), майенита ($\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$) и различные ферриты, в зависимости от состава цемента.

Аморфная фаза формируется при наличии примесей (Na , K), может образовывать легкоплавкое стекло, способствующее спеканию. Однако, при резком охлаждении приводит к растрескиванию композита, а при медленном – приводит к хрупкому разрушению при нагружении.

Фактически материал после обжига полностью теряет гидратационную прочность и превращается в керамику. Прочность зависит от степени спекания. Может быть как низкой (рыхлый порошок), так и достаточно высокой, если успели образоваться прочные кристаллические сростки волластонита и других фаз. Однако наличие свободной CaO делает его нестабильным и неводостойким. Водостойкость отсутствует полностью. При контакте с водой свободная известь (CaO) гасится с увеличением объема, вызывая растрескивание и разрушение. Волластонит и ларнит, в отличие от C-S-H геля, не обладают вяжущими свойствами и не гидратируются в нормальных условиях для придания прочности. В результате высокотемпературное воздействие разрушает сложную гидратную структуру цементного камня, обеспечивающую его прочность и монолитность, и возвращает систему к состоянию, близкому к исходному цементному клинкеру, но с более низким качеством и наличием вредной свободной извести.

Таким образом, портландцемент является ненадежным материалом для создания

огнезащитных покрытий, так как без модификации его применение невозможно. Но даже при применении наполнителей, способных связать свободную известь, нет гарантий, что реакции пройдут до конца и не останется достаточно портландита для разрушения материала при повторной гидратации. Кроме того, если в наполнителе, применяемом для связывания извести будет кристаллический кварц, или он появится при высокотемпературном воздействии, есть высокая вероятность разрушения материала при полиморфных превращениях кварца из β -кварц (высокотемпературный) в низкотемпературную фазу α -кварц при температуре $\sim 573^\circ\text{C}$, что приводит к резкому изменению объема на $0,45\%$.

Высокотемпературные полиморфные превращения β -кварц \rightarrow β -тридимит \rightarrow β -кристобалит происходят в интервале $\sim 870\text{--}1470^\circ\text{C}$. Они протекают гораздо медленнее (кинетически затруднены), но переход от кварца к кристобалиту в целом сопровождается значительным увеличением объема (порядка $12\text{--}15\%$), что может привести к внутренним напряжениям в системе.

На этом фоне гораздо предпочтительным вяжущим материалом для создания огнезащитных составов представляется глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, которые при гидратации не образуют свободной извести. Основная клинкерная фаза до гидратации глиноземистого цемента представлена монокальциевым алюминатом CA ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$). Могут присутствовать: C_{12}A_7 ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$), C_2S ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), а также следы не прореагировавших исходных материалов ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – корунд, если использовался глинозем).

По результатам расшифровки дифрактограмм, рис. 1, было установлено, что после гидратации фазы клинкера реагируют с водой, образуя гидратные соединения. Рентгенофазовый анализ показывает, что доминирующей гидратной фазой является CAH_{10} ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Его кристаллы имеют гексагональную пластинчатую форму, и он дает характерные пики ($7,15$; $3,55\text{\AA}$) на дифрактограмме. Также присутствует C_2AH_8 ($2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$), пики ($2,56$; $1,74$; $1,70$; $1,67\text{\AA}$). Также гексагональная фаза. Присутствует AH_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, аморфный или в виде гиббсита – *Gibbsite*) пики ($4,80$; $2,45$; $1,98$; $1,81\text{\AA}$). Аморфный AH_3 дает «горб» в области малых углов ($6\text{--}25^\circ 2\theta$), кристаллический гиббит дает четкие пики.

Пики исходного клинкера (CA , C_{12}A_7) значительно уменьшаются или полностью исчезают по мере гидратации ($4,66$; $4,04$; $3,71$; $3,19$; $2,96$; $2,85$; $2,50$; $2,53$; $2,40\text{\AA}$).

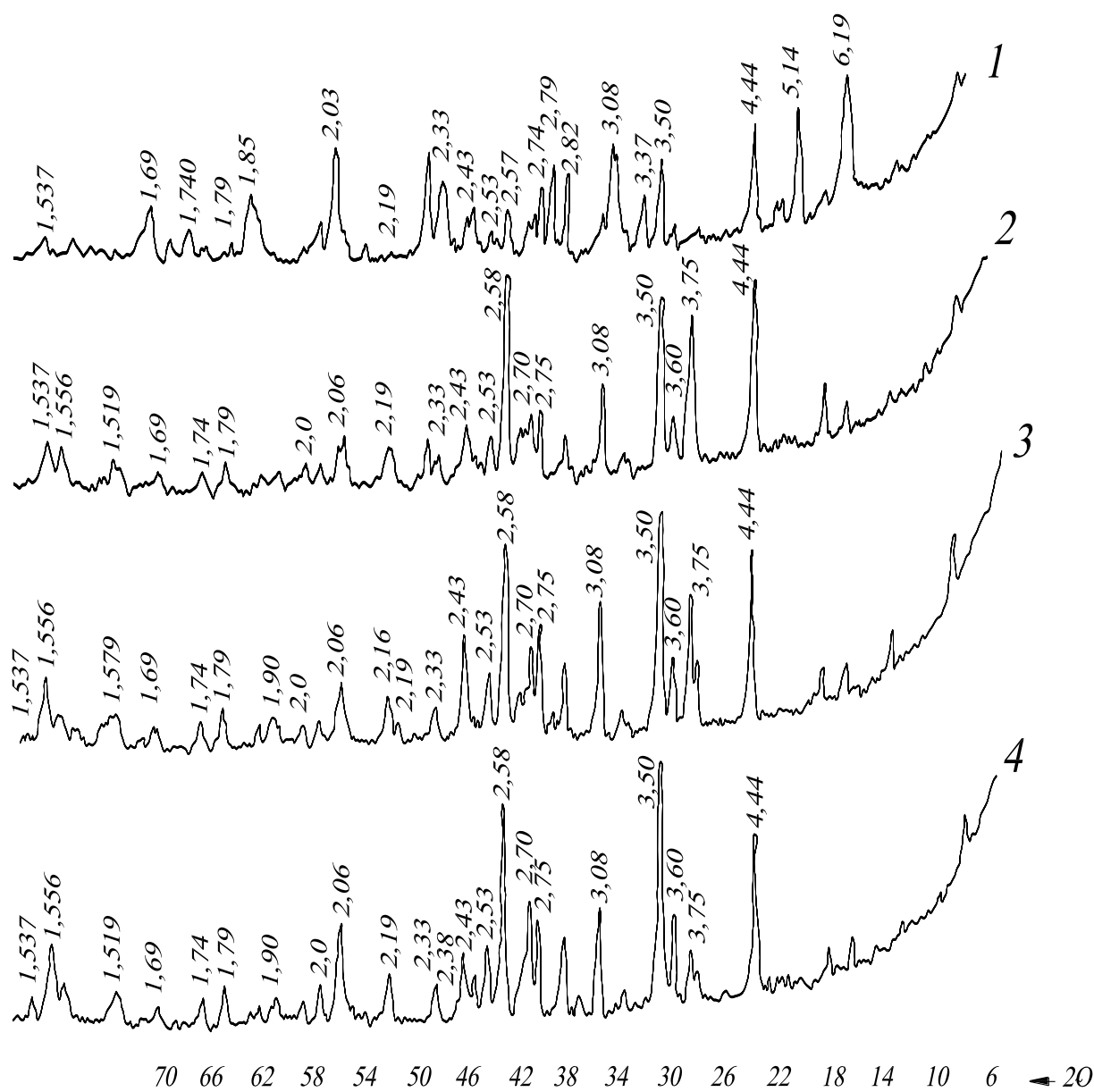


Рис. 1. Дифрактограммы глиноземистого цемента 1-4, после твердения и последующего обжига при 300, 600, 1000 и 1200 °С соответственно

Фазы CAH_{10} и C_2AH_8 являются метастабильными. Со временем (особенно при повышенной температуре и влажности) они конвертируют в стабильную кубическую фазу C_3AH_6 . Эта конверсия сопровождается выделением воды и увеличением пористости, что приводит к резкой потере прочности (конверсионная деградация).

При прогреве гидратированного глиноземистого цемента (ГЦ) происходят многостадийные процессы дегидратации, разложения, спекания и плавления, сопровождающиеся кардинальной сменой фазового состава. Исходные минералы основного состава гидратированного

глиноземистого цемента, представленные метастабильными гидратами CAH_{10} (гидроалюминат кальция) и C_2AH_8 (гидрогранатовый состав), более стабильными C_3AH_6 (гидрогроссуляр), AH_3 (гипс/гидраргиллит) и аморфной фазой при поэтапном прогреве представляют следующие изменения фаз:

В диапазоне 100-300 °С происходит начальная дегидратация, идет испарение свободной воды и начало отдачи химически связанной воды из гидратных фаз. Начинается разложение метастабильных гидратов CAH_{10} и C_2AH_8 . Появляются продукты их разложения – аморфные Al_2O_3 и CaO . В этом диапазоне

температур материал представляет собой смесь частично дегидратированных гидратов, C_3AH_6 , AH_3 и аморфных оксидов.

В диапазоне 300–600 °С происходит интенсивная дегидратация, связанная с полной потерей химически связанной воды. Критический интервал температур для прочности – максимальное ее падение, относительно сформированной после гидратации. Окончательно разлагаются CAH_{10} и C_2AH_8 . При ~500–550 °С разлагается гиббсит (AH_3) → $\gamma-Al_2O_3$ + H_2O . При ~500–600 °С: начинается дегидратация стабильного C_3AH_6 . Материал представляет собой аморфную смесь оксидов (CaO , Al_2O_3), остатки C_3AH_6 , $\gamma-Al_2O_3$.

В диапазоне 600–1000 °С завершается процесс разложения первоначальных фаз и начинаются твердофазные реакции. C_3AH_6 полностью разлагается на CaO и $\alpha-Al_2O_3$ (корунд). При ~700–900 °С формируется моноалюминат кальция ($CAAl_2O_4$ или CA), при ~900–950 °С формируется однокальциевый силикат (Ca_2SiO_4 или C_2S).

В диапазон 1000–1200 °С идет синтез высокотемпературных фаз и спекание. Исчезает большинство свободных оксидов, появляются CA_2 ($CaAl_4O_7$) – диалюминат кальция, $C_{12}A_7$ ($12CaO \cdot 7Al_2O_3$) – маяенит, геленаит ($Ca_2Al_2SiO_7$), нефелин ($NaAlSiO_4$). Материал уплотняется, но остается пористым.

При температурах более 1200 °С происходит жидкофазное спекание и формирование клинкерных фаз. Представления о превращениях представлены в табл. 1.

Таким образом, до температуры ~1000 °С материал теряет прочность, становится хрупким и пористым из-за дегидратации. Выше 1200 °С при правильном термическом режиме происходит спекание и формируется высокопрочный огнеупор. Поэтому применение глиноземистого цемента непосредственно как вяжущее вещество для огнезащитных покрытий представляется нерациональным, так при пожарах, температура выше 1000 °С возникает при возгораниях взрывопожароопасных веществ, которые проектируются специализированно.

Таблица 1. Изменения фазового состава гидратированного глиноземистого цемента при прогреве до 1600 °С

Температурный диапазон, °С	Доминирующие процессы	Ключевые минералы и фазы
100–300	Начальная дегидратация	CAH_{10} , C_2AH_8 , C_3AH_6 , AH_3 (начало разложения)
300–600	Интенсивная дегидратация	C_3AH_6 , $\gamma-Al_2O_3$, аморфные CaO и Al_2O_3
600–900	Разложение, начало синтеза	CA , $\alpha-Al_2O_3$ (корунд), C_2S
900–1200	Синтез фаз, спекание	CA , CA_2 , $C_{12}A_7$, корунд, геленаит
1200–1450	Жидкофазное спекание	CA , CA_2 , расплав, геленаит, анортит
1450–1600	Плавнение, гомогенизация	Расплав → при охлаждении: CA , CA_2 , корунд, стекло

Существует распространенный вид вяжущего, который широко применяется для изготовления жаростойких композиций – это жидкое стекло с различными отвердителями. Ранее нами был представлен вариант жаростойкого бетона на жидком стекле [14], который по своему фазовому составу представляет затвердевший гель кремнекислоты с объемным сетчатым каркасом силоксановых связей. В качестве кристаллической фазы выступают минералы отвердителя – доменного гранулированного шлака, в основном представленного волластонитом (в основном) – $\beta-CaOSiO_2$, шеннонитом – $\gamma-2CaOSiO_2$, а так же ранкинитом – $3CaO \cdot 2SiO_2$. Также присутствуют минералы низкоосновных гидросиликатов кальция: $C-S-H(I)$, $C-S-H(II)$, гиролит – $2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$ и трускоттит – $6CaO \cdot 10SiO_2 \cdot 3H_2O$. Такой состав до высокотемпературного воздействия обладает высокой прочностью – до 40 МПа. После теплового

воздействия 800–1000 °С в составе присутствуют минералы, принадлежащие шамоту и анортиту, кальциевому полевоému шпату – $CaOAl_2O_2SiO_2$, появившемуся в результате спекания. Находящийся в разработанном вяжущем гидроксид натрия и натрий жидкого стекла связываются тонкомолотой шамотной добавкой в полевой шпат, β -альбит – $Na_2OAl_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Температура плавления альбита составляет 1118 °С, что является предельной температурой применения вяжущего. Прочностные характеристики полученного композита после высокотемпературного воздействия достигают 60 МПа, а термостойкость составляет более 50 водных циклов теплосмен [15].

Исходя из рассмотренных физико-химических явлений, представляется целесообразным получение композиционного вяжущего вещества, включающего в свой состав как жидкое стекло, так и цементы различной природы,

которые бы могли компенсировать недостатки каждого из них в отдельности. Наиболее перспективной для получения такого вяжущего является смесь натриевого жидкого стекла с глиноземистым цементом.

Реакция между глиноземистым цементом (ГЦ) и натриевым жидким стеклом (НЖС) лежит в основе целого класса материалов – щелочеактивированных алюминатных вяжущих. Минералогический фазовый состав продуктов реакции сложен и зависит от соотношения компонентов, температуры, времени и концентрации ЖС. Однако можно выделить ключевые фазы, образующиеся в большинстве случаев. Основными продуктами реакции являются аморфный гель алюмосиликата натрия (N-A-S-H гель) – аналог геля в щелочеактивированных шлаках и метакраунитовых системах, Основная фаза, отвечающая за прочность: гидроксид алюмината кальция: CAH_{10} (гидроалюминат кальция), C_2AH_8 (гидрогранатовый состав), C_3AH_6 (гидрогроссуляр) – в зависимости от температуры и времени. Гиббсит (гидраргиллит) ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Цеолиты (в основном анальцит, реже содалит, натролит) – кристаллические продукты, образующиеся при длительном твердении или повышенной температуре. Карбонатные фазы (кальцит, трона) – как примеси или продукты карбонизации.

Можно представить химические процессы и формирование фаз, как реакцию, протекающую в сильнощелочной среде ($\text{pH} > 13$), которую создает жидкое стекло. Целесообразно выделить следующие этапы реакции.

Этап 1. Растворение. Высокий pH быстро растворяет алюмосодержащие фазы глиноземистого цемента (CA , C_{12}A_7), высвобождая ионы Al^{3+} и Ca^{2+} в раствор. Одновременно происходит растворение кремнезема из жидкого стекла с образованием силикат-анионов.

Этап 2. Образование промежуточных фаз и гелей. Ионы кальция (Ca^{2+}) немедленно реагируют с алюминатами и силикатами, образуя гидроалюминаты кальция (C-A-H), и потенциально слабокристаллический C-S-H гель. Однако в условиях избытка алюминия и щелочи C-S-H гель нестабилен. Ионы алюминия (Al^{3+}) в щелочной среде существуют в виде $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ комплексов. Эти алюминатные комплексы взаимодействуют с силикат-анионами $[\text{SiO}_2(\text{OH})_2]^{2-}$, что приводит к конденсации и образованию аморфного алюмосиликатного геля (N-A-S-H). Его структура похожа на структуру геля в геополимерах: трехмерный каркас из $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и $[\text{AlO}_4]^{5-}$ тетраэдров, с катионами Na^+ в пустотах для компенсации заряда.

Этап 3. Перекристаллизация и формирование стабильных фаз. Со временем (при твердении в нормальных условиях или

особенно при тепловлажностной обработке) метастабильные фазы переходят в более стабильные:

- гиббсит ($\text{Al}(\text{OH})_3$): может выпадать в осадок при локальном перенасыщении раствора алюминием;

- цеолиты: Аморфный N-A-S-H гель постепенно кристаллизуется, образуя цеолиты. Наиболее типичен анальцит ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), так как в системе присутствует натрий, алюминий и кремний. Образование цеолитов может положительно влиять на прочность и химическую стойкость.

Стабилизация гидроалюминатов кальция: Метастабильные CAH_{10} и C_2AH_8 со временем конвертируют в стабильный, но менее прочный C_3AH_6 (особенно при температуре выше 25–30 °C). Этот процесс может быть причиной «прочностного провала».

Исходя из физико-химических предположений процесса на фазовый состав будут влиять следующие, изложенные ниже, факторы.

Модуль жидкого стекла ($n = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$). Так низкий модуль (высокая щелочность): ускоряет растворение, способствует образованию цеолитов и гиббсита. Высокий модуль (больше SiO_2): способствует формированию более прочного и стабильного N-A-S-H геля.

Соотношение ГЦ/НЖС. Оно определяет концентрацию ионов Ca^{2+} , Na^+ , $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{SiO}_4]$. Высокое содержание цемента увеличивает долю C-A-H фаз.

Повышение температуры резко ускоряет все процессы: растворение, поликонденсацию и особенно кристаллизацию цеолитов. Высокие температуры (> 80 °C) могут приводить к почти полной кристаллизации геля.

Состав эволюционирует во времени от аморфного геля к смеси геля и кристаллических фаз (C-A-H, цеолиты).

Практическое значение образующихся фаз:

N-A-S-H гель и цеолиты придают материалу высокую прочность и исключительную стойкость к кислотам и сульфатам;

C-A-H фазы обеспечивают высокие ранние прочности и быстрое схватывание.

Недостатком является потенциальная конверсия метастабильных гидроалюминатов, ведущая к снижению прочности и росту пористости. Эту проблему можно решить введением тонкомолотых добавок и добавками микрокремнезема, который связывает известь и стабилизирует систему.

Реакция ГЦ с НЖС приводит к образованию сложного композита из аморфного N-A-S-H геля, кристаллических гидроалюминатов кальция и со временем цеолитов. Такой состав обеспечивает материалу уникальные свойства:

высокую раннюю прочность, термостойкость и химическую стойкость, что определяет его применение для создания огнезащитных покрытий.

При высокотемпературном воздействии на систему «глиноземистый цемент + натриевое жидкое стекло» при температурах 800–1000 °С приведет к кардинальным изменениям его фазового состава. Происходит дегидратация, разложение ранее образовавшихся фаз, спекание и формирование новых высокотемпературных минералов. Предположительный фазовый состав после обжига на разных температурных интервалах будет различным.

Стадия дегидратации и разложения ~100-800 °С. Вся гидратная вода испаряется. Разрушаются все гидратные фазы: N-A-S-H гель теряет воду и превращается в аморфную алюмосиликатную массу. Гиббсит ($\text{Al}(\text{OH})_3$)

дегидратируется с образованием аморфного глинозема (Al_2O_3) и, впоследствии переходных оксидов алюминия ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$). Гидроалюминаты кальция (C_3AH_6 и др.) разлагаются с образованием безводного моноалюмината кальция (CA) и извести (CaO). Цеолиты (напр., анальцим) теряют кристаллизационную воду и дестабилизируются.

К диапазону стандартного пожара 800-1000 °С система должна представлять собой мелкодисперсную смесь высокореакционных оксидов: CaO, Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O , а также остаточных соединений типа CA. Начинаются процессы твердофазного синтеза и спекания. Формируются новые высокотемпературные минералы. Основные предполагаемые кристаллические фазы представлены в табл. 2.

Таблица 2. Продукты трансформации прореагировавших между собой глиноземистого цемента и жидкого стекла после прогрева до температуры 1000 °С

Исходная фаза (после твердения)	Продукты разложения/трансформации (800-1000 °С)
N-A-S-H гель	Нефелин (NaAlSiO_4), Стеклофаза, Альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)
Гидроалюминаты кальция (C_3AH_6)	Моноалюминат кальция (CA), Известь (CaO), которая далее реагирует с SiO_2 и Al_2O_3
Гиббсит ($\text{Al}(\text{OH})_3$)	Корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) (или $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ при более низких T)
Анальцим ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$)	Нефелин (NaAlSiO_4) + Кристобалит (SiO_2)
Моноалюминат кальция (CA) (ост.)	Геленаит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), Анортит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)
Аморфный SiO_2 (из ЖС)	Кристобалит (SiO_2), вступает в реакции с образованием силикатов

Нефелин (NaAlSiO_4) – одна из самых стабильных и распространенных фаз в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Образуется при взаимодействии продуктов разложения N-A-S-H геля и анальцима. Температура плавления ~1250 °С. Является основной фазой в этом диапазоне.

Альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) или полевые шпаты. Образуется при избытке кремнезема (высокий модуль НЖС) вместо нефелина или вместе с ним может формироваться альбит. Температура плавления ~1100 °С.

Геленаит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) – ключевая фаза, связывающая CaO из глиноземистого цемента с Al_2O_3 и SiO_2 . Образуется по реакции между CA, SiO_2 и CaO. Температура плавления ~1590 °С. Очень тугоплавкая и стабильная фаза.

Анортит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) – может образовываться как альтернатива или вместе с геленаитом при определенных соотношениях компонентов (выше содержание SiO_2). Температура плавления ~1550 °С.

Моноалюминат кальция (CaAl_2O_4 или CA). Продукт разложения гидроалюминатов. Может сохраняться как остаточная фаза, если не весь прореагировала с кремнеземом.

Корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Может оставаться в виде непрореагировавшей части от исходного ГЦ или образоваться из гиббсита. При 1000 °С уже происходит переход в стабильную α -форму.

Кристобалит (SiO_2). Свободный кремнезем из жидкого стекла, не вступивший в реакции, может кристаллизироваться в кристобалит.

Стеклофаза. Наличие оксида натрия (Na_2O) является мощным флюсом. Часть смеси, особенно с избытком кремнезема и натрия, уже при 800-1000 °С может образовывать легкоплавкую силикатную стеклофазу, которая связывает кристаллические зерна и обеспечивает уплотнение материала (спекание).

Такой фазовый состав указывает на то, что после высокотемпературного воздействия материал превращается в сиаплит (каменный литейной материал). Его отличительными свойствами будут высокая термостойкость, так как новые фазы (нефелин, геленаит, корунд) тугоплавки. Высокая механическая прочность за счет спекания и образования прочных кристаллических сростков. Химическая стойкость, так как керамическая масса инертна по сравнению с гидратными фазами.

Прочность на сжатие такого обожженного композита может варьироваться в очень широких пределах: от 50-120 МПа. Ключевую роль играет образование жидкой фазы (стекла) и последующее спекание.

Как правило, для сохранения высокой прочности в интервалах температур 300-1000 °С, в жаростойкие композиты вводят тонкомолотые активные и тугоплавкие добавки – наполнители. Наиболее изученным и часто применяемым является шамот. Введение такого наполнителя кардинально меняет состав, структуру и свойства конечного композита, превращая его из монокристаллической керамики в огнеупорный бетон или жаростойкий композит.

Шамот состоит в основном из муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и кристобалита (SiO_2). При его введении предположительный минералогический и фазовый состав после обжига при температуре 800-1000 °С будет определяться состоянием системы из трех частей: связки (матрица), как продукту реакции ГЦ + НЖС; наполнителя (армирование) – частицы шамота и зона контакта (граница раздела) – область, где активные компоненты связки взаимодействуют с поверхностью шамота.

Фазы связующей матрицы останутся прежними, но их количество относительно меньше из-за разбавления инертным наполнителем. Формируются те же фазы: нефелин ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), геленаит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) и стеклофаза (натриево-кальциево-алюмосиликатное стекло) – главный флюс и связующий элемент.

Фазы наполнителя (шамота) остаются стабильными в данном температурном диапазоне и выполняют роль армирующего каркаса. Муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) – высокотугоплавкая (плавится при ~1850 °С), прочная и химически стабильная фаза. Является основой прочности и огнеупорности. Кристобалит (SiO_2) – стабилен при высоких температурах, но может частично реагировать с матрицей.

Фазы на границе раздела (зона контакта матрица-наполнитель). Это самая важная с точки зрения свойств композита область. Здесь активные компоненты матрицы (особенно флюсы – Na_2O , CaO) атакуют поверхность шамота. Частицы кристобалита на поверхности шамота будут легко растворяться в стеклофазе матрицы. Муллит химически более устойчив. Однако при температуре 1000 °С и наличии флюсов может происходить его частичное взаимодействие. В результате на границе могут образовываться новые фазы, например, дополнительное количество геленаита или анортита ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), которые образуют прочный переходный слой, «сшивая» частицу наполнителя с матрицей.

Введение шамота придает материалу принципиально новые характеристики. Резкое повышение огнеупорности и термостойкости. Шамотный наполнитель работает как тепловой барьер. Матрица, состоящая из нефелина и геленаита, плавится при меньших температурах (~1100-1250 °С), но тугоплавкие частицы муллита (>1850 °С) образуют жесткий каркас, который не дает материалу деформироваться и течь при нагреве. Стойкость к термическим ударам (циклическому нагреву-охлаждению) значительно улучшается. Коэффициент термического расширения шамота и образующейся матрицы могут быть согласованы, что снижает внутренние напряжения при перепадах температур. Механическая прочность (на сжатие) при комнатной температуре может снизиться по сравнению с беспористой монокристаллической керамикой из чистой связки. Это происходит из-за введения крупных частиц и потенциально более слабой границы раздела. Типичная прочность может составить 30-70 МПа.

Прочность при высоких температурах (огневая прочность) – возрастает многократно. При нагреве выше температуры размягчения связующей матрицы (~1000 °С) монокристаллический образец без наполнителя потечет и разрушится. Композит с шамотом будет сохранять форму и несущую способность благодаря каркасу из частиц муллита, даже когда матрица находится в вязко-текучем состоянии.

Значительно снижаются усадочные деформации. Шамот является неусадочным наполнителем. Он создает структурный скелет, который препятствует усадке связующей матрицы при обжиге. Это критически важно для изготовления крупных изделий без трещин.

Как правило, пористость увеличивается. Поры образуются на границах между частицами наполнителя и матрицей. Это можно регулировать гранулометрическим составом шамота (используя мелкие и крупные фракции для более плотной упаковки).

Высокая стойкость к окислению и действию шлаков сохраняется. Муллит и корунд чрезвычайно инертны.

Вывод

Таким образом, наиболее эффективным вяжущим веществом, для создания огнезащитных покрытий конструкций зданий и сооружений промышленных объектов является композиция состоящая из глиноземистого цемента, натриевого жидкого стекла и шамота. Композит «ГЦ + НЖС + шамот» после обжига при 800-1000 °С будет представлять из себя муллит-геленаит-нефелиновый огнеупор или жаростойкий бетон. Его ключевые свойства:

- высокая огнеупорность (может достигать класса огнеупорности 1580-1650 °С и выше);
- отличная стойкость к термическому удару;
- достаточная прочность как при нормальной, так и при высоких температурах;
- низкая усадка при обжиге и последующем нагреве.

Список литературы

1. Гордов В. Д., Киянец А. В. Огнезащитные облицовки Кнауф // КНАУФ в мировом строительном комплексе: сборник материалов Десятой научно-практической конференции. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2017. С. 71-75.
2. Головина Е. В., Ефимов И. А., Кректунов А. А. Исследование огнезащитных свойств огнезащитных покрытий вспучивающегося типа при огневых испытаниях в условиях стандартного температурного режима // Техносферная безопасность. 2024. № 1 (42). С. 40–46.
3. Кораблин С. Н. Исследование огнезащитных свойств огнезащитных составов / Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: сборник материалов XI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2024. С. 190–192.
4. Шабунин С. А., Баринаева Е. В. Современные способы и средства огнезащиты деревянных конструкций // Современные пожаробезопасные материалы и технологии. сборник материалов IV международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 123–125
5. Хайрутдинов Д. Э., Шабунин С. А. Способы и средства огнезащиты для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 232–235.
6. Гергишан С. В., Овчинников А. А., Ходова И. А. Моделирование процесса прогрева строительной конструкции с защитным огнестойким покрытием // Умные композиты в строительстве. 2025. Т. 6. № 1. С. 21–30.

Такой материал надежно продолжит защищать строительные конструкции и после пожара, улучшив свои характеристики. Этот состав также может быть применен для термоизоляционных и огнеупорных футеровок печей, изготовления тепловых щитов и огнеупорных плит, изоляционных панелей в промышленных тепловых агрегатах.

7. Москвин В. М., Кураев В. В. Огнеупорный бетон // ЦНИИПС, научно-технический отчет, 1933-34.
8. Технология керамики и огнеупоров / П. П. Будников [и др.]. М.: Промстройиздат, 1962. 258 с.
9. Рушук Г. М. К вопросу о сравнительной оценке цементов с точки зрения влияния на них высоких температур. Л.: Изд-во ВНИИЦ, 1936. 120 с.
10. Гурвич И. Е. О влиянии нагревания на прочность цементов // Цемент, №12, 1938. С. 12–15.
11. Гурвич И. Е., Агофонов М. С. Силикография затвердевших цементов при высоких температурах // Известия Новочеркасского индустриального института, т. XII (24), 1941. С. 9–12.
12. Некрасов К. Д. Жароупорный бетон. М.: Промстройиздат, 1957. 286 с.
13. Некрасов К. Д. Теплоизоляционный жароупорный пенобетон / Бюллетень строительной техники, №14, 1948. С. 32–36
14. Жаростойкий бетон для огнезащитных покрытий строительных конструкций / В. Е. Румянцева, А. А. Овчинников, Д. В. Обручев [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 118–125;
15. Федосов С. В., Серегин Г. В., Овчинников А. А. Жаростойкий бетон для футеровки вагонеток и печей керамической промышленности // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 9–11.

References

1. Gordov V. D., Kiyanez A. V. Ogneshitny'e obliczovki knauf [Knauf fire-protective claddings]. *KNAUF v mirovom stroitel'nom komplekse: sbornik materialov Desyatoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skiy gosudarstvennyy universitet (natsional'nyy issledovatel'skiy universitet), 2017. Pp. 71-75.
2. Golovina E. V., Efimov I. A., Krekturnov A. A. Issledovanie ogneshitny'x svoystv ogneshitny'x pokry'tij vspuchivayushhegosya tipa pri ognivy'x ispy'taniyax v usloviyax standartnogo temperaturnogo rezhima [Study of fire-protective properties of intumescent fire-protective coatings during fire tests under standard

temperature conditions]. *Texnosfernaya bezopasnost'*, 2024, vol. 1 (42), pp. 40–46.

3. Korablin S. N. Issledovanie ognезashhitny'x svoystv ognезashhitny'x sostavov [Study of fire-protective properties of fire-protective compositions]. Aktual'nyye problemy stroitel'stva, ZHKKH i tekhnosfernoy bezopasnosti: sbornik materialov XI Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh issledovateley. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet, 2024. Pp. 190–192.

4. Shabunin S. A., Barinova E. V. Sovremennyye sposoby i sredstva ognезashhity derevyanny'x konstrukcij [Modern methods and means of fire protection of wooden structures]. *Sovremennyye pozharobezopasny'e materialy i tekhnologii: sbornik materialov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashhennoj 30-j godovshchine MChS Rossii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2020. Pp. 123–125

5. Khayrutdinov D. E., Shabunin S. A. Sposoby i sredstva ognезashhity dlya snizheniya pozharnoj opasnosti i pov'sheniya ognestojkosti derevyanny'x konstrukcij [Methods and means of fire protection to reduce fire hazard and increase fire resistance of wooden structures]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashhennoj 90-j godovshchine obrazovaniya grazhdanskoj oborony*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. Pp. 232–235.

6. Gergishan S. V., Ovchinnikov A. A., Khodova I. A. Modelirovanie processa progreva stroitel'noj konstrukcii s zashhitny'm ognestojkim pokry'tiem [Modeling the Heating Process of a Building Structure with a Protective Fire-Resistant Coating]. *Umny'e kompozity v stroitel'stve*, 2025, vol. 6, issue 1, pp. 21–30.

7. Moskvina V. M., Kuraev V. V. *Ogneuporny'j beton* [Refractory Concrete]. CZNIPS, nauchno-tekhnicheskij otchet, 1933-34.

8. *Texnologiya keramiki i ognеuporov* [Technology of Ceramics and Refractories] / P. P. Budnikov [et al.]. Moscow: Promstroizdat, 1962. 258 p.

9. Rushhuk G. M. *K voprosu o sravnitel'noj ocenke cementov s tochki zreniya vliyaniya na nix vy'sokix temperatur* [On the Comparative Evaluation of Cements from the Point of View of the Effect of High Temperatures on Them]. L.: Izd-vo VNIICz, 1936. 120 p.

10. Gurvich I. E. *O vliyatii nagrevaniya na prochnost' cementov* [On the Effect of Heating on the Strength of Cement]. *Cement*, issue 12, 1938, pp. 12–15.

11. Gurvich I. E., Agofonov M. S. Silikografiya zatverdevshix cementov pri vy'sokix temperaturax [Silicography of Hardened Cements at High Temperatures]. *Izvestiya Novocheboksenskogo industrial'nogo instituta*, vol. XII (24), 1941, pp. 9–12.

12. Nekrasov K. D. *Zharouporny'j beton* [Heat-Resistant Concrete]. Moscow: Promstroizdat, 1957. 286 p.

13. Nekrasov K. D. Teploizolyacionny'j zharouporny'j penobeton. [Heat-Insulating Heat-Resistant Foam Concrete]. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki*, 1948, issue 14, pp. 32–36

14. Zharostojkij beton dlya ognезashhitny'x pokry'tij stroitel'ny'x konstrukcij [Heat-resistant concrete for fireproof coatings of building structures] / V. E. Romyanceva, A. A. Ovchinnikov, D. V. Obruchev [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashhity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 118–125

15. Fedosov S. V., Seregin G. V., Ovchinnikov A. A. Zharostojkij beton dlya futerovki vagonetok i pechej keramicheskoy promyshlennosti [Heat-resistant concrete for lining cars and furnaces of the ceramic industry]. *Stroitel'ny'e materialy*, 2006, issue 9, pp. 9–11.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

E-mail: varrym@gmail.com

Romyanceva Varvara Evgen'evna

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

Russian Federation, Ivanovo

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

corresponding member of RAASN, doctor of technical sciences, professor

E-mail: varrym@gmail.com

Овчинников Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: nisigasa@mail.ru

Ovchinnikov Aleksandr Aleksandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: nisigasa@mail.ru

Обручев Дмитрий Витальевич

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

аспирант

E-mail: d.v.obruchev@i-meb.ru

Obruchev Dmitrij Vital'evich

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

Russian Federation, Ivanovo

postgraduate student

E-mail: d.v.obruchev@i-meb.ru

Гергишан Сергей Васильевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: gergishmpower@mail.ru

Gergishan Sergey Vasilievich

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: gergishmpower@mail.ru

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

УДК 005.7, 005.8
DOI 10.48612/ntp/rm6z-nueu-emd1

**АНАЛИЗ ВОПРОСА О ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ СИСТЕМ**

П. В. ДАНИЛОВ, А. А. АПАРИН, А. И. ЗАКИНЧАК

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

В данной статье представлены результаты анализа трех аспектов вопроса о применении информационно-управленческих систем в различных организационных системах. Проанализирован исторический и статистический контекст рассматриваемого вопроса. Проведен анализ вопроса с позиции управления в организационных системах, а также выполнена аналитическая работа по изучению опыта разработки систем управления проектами для организационных систем, связанных с оперативной или служебной деятельностью.

Ключевые слова: системы управления проектами, информационные системы, программное обеспечение, поддержка принятия решений, организационные системы.

**ANALYSIS OF THE PRACTICAL APPLICATION OF INFORMATION
AND MANAGEMENT SYSTEMS**

P. V. DANILOV, A. A. APARIN, A. I. ZAKINCHAK

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

This article presents the results of an analysis of three aspects of the issue of the application of information and management systems in various organizational systems. The historical and statistical context of the issue under consideration has been analyzed. The issue has been analyzed from the perspective of management in organizational systems, and analytical work has been conducted to study the experience of developing project management systems for organizational systems related to operational or official activities.

Key words: project management systems, information systems, software, decision support, and organizational systems.

Современные направления исследований, характерные для области технических наук, связанной с управлением в организационных системах, подчеркивают важность разработки и совершенствования как теоретического, так и информационного, а также программного обеспечения различных систем управления.

Такой вывод можно получить по результату анализа соответствующего паспорта научной специальности¹. Современные информационно-управленческие системы характеризуются своей функциональной многогранностью. Однако рассмотрим один из вариантов – синтез

© Данилов П. В., Апарин А. А., Закинчак А. И., 2025

¹ Паспорт научной специальности 2.3.4. «Управление в организационных системах» [Электронный ресурс]. URL: https://www.vak.gisnauka.ru/s3-files/01cc80c69fae4988a0246a8f5e2774e7:fisgna/public/media/uploaded/news_files/4dfе14e2-84dc-45c3-9909-718a368c5fe6/f3d7a389-35b4-4754-8ff9-a236053_tBlcL7Y.pdf (дата обращения: 21.09.2025).

взаимодополняющих элементов² (подсистем): системы управления проектами (включающей методы и инструменты для поддержки управления проектами) и информационной системы управления проектами (реализованной в виде программного обеспечения для управления проектами).

Рассматривая объект исследования, а именно, информационно-управленческую систему (ИУС), необходимо отметить, что это более комплексное и расширенное понятие, включающее в себя не только информационные технологии и средства обработки данных, но и управленческую составляющую, ориентированную на поддержание и оптимизацию процессов управления внутри организации. В ИУС важно наличие:

- автоматизации управления: использование систем для принятия управленческих решений, координации действий, распределения ресурсов и мониторинга.
- интеграции с другими системами: ИУС часто объединяют в себе элементы различных информационных систем (например, ERP, CRM, BI) и обеспечивают взаимодействие между ними для комплексной обработки данных.
- аналитики и прогнозирования: наличие аналитических инструментов для поддержки принятия решений на основе больших объемов данных, прогнозирования и анализа рисков.

Таким образом, ИУС может включать в себя множество подсистем и инструментов для поддержки управленческих процессов, что делает её более многоуровневой и многофункциональной.

Информационно-управляющая система, гораздо более распространенное понятие в теории управления, в отличие от рассматриваемого нами объекта исследования, может быть более узким понятием и часто используется для описания систем, направленных исключительно на решение задач управления с помощью информационных технологий. Это система, которая ориентирована на:

- управление процессами через сбор и обработку информации;
- регулирование и координацию действий на основе этой информации;
- обеспечение данных для решения конкретных управленческих задач (например,

управление проектами, логистикой, производственными процессами).

Информационно-управляющая система может не включать в себя такие элементы, как глубоко интегрированные аналитические модули или автоматическое прогнозирование, как в случае ИУС. Это скорее инструмент, непосредственно направленный на управление, а не на комплексную поддержку всех аспектов организационной деятельности.

ИУС охватывает более широкую область практики, интегрируя данные из различных источников информации, автоматизируя определенные функции управления, анализируя имеющиеся риски и выполняя информационную поддержку управления. Информационно-управляющая система скорее ориентирована на точечные задачи по управлению с применением базового (минимального) набора аналитического инструментария. Это различие важно для правильного понимания масштаба и функциональности каждой из систем в контексте их применения в различных организационных системах и соответствующих им сферах деятельности.

Анализ исторического и статистического аспектов рассматриваемого вопроса

Системы управления проектами стоит назвать логичным явлением как в области информационных технологий, так и в области менеджмента организаций, возникшим в ранний период становления постиндустриального (информационного) типа общества. Одними из первых известных фактов успешной реализации систем управления проектами организационной системы в виде программного обеспечения являются продукты компании «Metier Management Systems» (1977-1978 гг.)³.

Сегодня в системы управления проектами интегрируют инструменты искусственного интеллекта, что оказывает влияние на функции таких систем и на методы взаимодействия с ними. В этой связи известен ряд крупных исследований, посвященных изучению общественного мнения на темы, связанные с влиянием искусственного интеллекта на управление проектами [1-2].

По данным [2] 58 % респондентов, входящих в аппарат управления различных организаций на момент проведения исследования, считали, что в перспективе пяти лет искусственный интеллект может оказать «значительное»

² Система управления проектами: почему она так необходима вашему бизнесу? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vak.gisnauka.ru/s3-quality-lab.ru/blog/sistema-upravleniya-proektami-pochemu-ona-tak-neobходима-vashemu-biznesu/> (дата обращения: 21.09.2025).

³ Centre for computing history. Metier Artemis [Электронный ресурс]. URL: <https://www.computinghistory.org.uk/det/14416/Metier-Artemis/> (дата обращения: 21.09.2025).

или «преобразующее» влияние на процесс проектной работы в их организации. Более подробно вопрос о применении искусственного интеллекта в управлении проектами рассмотрен в [3-5].

На современном этапе развития объем мирового рынка программного обеспечения для управления проектами (англ. Project Management Software) активно развивается, причем наблюдается как интенсивные тенденции (появляются новые подходы к решению задач; развиваются инновационные инструменты, в которых используются в том числе модели и алгоритмы искусственного интеллекта) так и экстенсивные тенденции (расширяется география применения систем управления проектами; расширяется область решаемых задач). Проанализируем прогнозы развития рассматриваемого рынка, основываясь на данных различных изданий. При анализе будем учитывать показатель «совокупный среднегодовой темп роста» или CAGR (англ. Compound annual growth rate. Данный показатель дает оценку годовой процентной ставки увеличения объема рынка (в финансовом выражении), в случае равномерного ее изменения):

– прогноз 1. С 2025 по 2033 г. значение показателя может составлять 14,57 %⁴;

– прогноз 2. К 2029 г. Значение показателя может составлять 13,70 %⁵;

– прогноз 3. С 2025 по 2030 г. значение показателя может составлять 10,67 %⁶.

Несмотря на то, что прогнозы^{4, 5, 6} выражены различными количественными значениями, все проанализированные источники информации указывают на тенденцию, приводящую к увеличению объема (в финансовом выражении) мирового рынка систем управления проектами в перспективе 5-10 лет.

Данные, содержащиеся в отчете⁴ позволяют рассмотреть динамику развития отечественного рынка программного обеспечения систем управления проектами, а также сравнить с аналогичными показателями мирового рынка. Согласно представленным данным выручка от продаж программного обеспечения для управления проектами на рынке Российской Федерации:

– в 2021 году составила 69,401 млн долларов;

– в 2025 году может составить 111,618 млн долларов;

– в 2033 году может достигнуть значения 293,359 млн долларов.

При такой динамике прогноз показателя совокупного среднегодового темпа роста для отечественного рынка может принять значение на уровне 12,83 %. Значение CAGR для глобального рынка по данным отчета⁴ может достичь 14,57 %

Анализ вопроса с точки зрения управления в организационных системах

Согласно широко известным трудам в области теории управления организационными системами [6-9], одним из компонентов теории управления являются функции управления.

В контексте данной статьи наибольший интерес представляют функции процессного управления проектами организационной системы: планирование, организация, стимулирование и контроль. Отличительной особенностью процессного управления является наличие регулярной, повторяющейся деятельности [9]. Проект представляет собой систему временных действий, которые направлены на получение конкретного (уникального) результата [10]. В случае рассмотрения вопроса с позиции управления проектами, стоит выделить ряд основных структурных элементов проекта (отдельных структур) [11]:

1. Иерархическая структура работ (англ. Work Breakdown Structure). Анализ научных публикаций в данной области показал, что в основном, данному направлению посвящены труды зарубежных авторов, например [12-16].

2. Иерархическая организационная структура (англ. Organizational Breakdown Structure). Примером научных исследований в данной области служат труды как отечественных, так и зарубежных авторов [17-22].

3. Иерархическая структура ресурсов (англ. Resources Breakdown Structure). Вопросы, связанные с иерархическими структурами ресурсов рассмотрены в публикациях отечественных [23-26] и зарубежных [27] авторов.

Снова обратимся к [11], согласно данному источнику, иерархические структуры имеют между собой ряд взаимных связей:

– связь, выражающаяся в распределении ответственности (между иерархической

⁴ Project Management Software Market Report 2025 (Global Edition) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cognitivemarketresearch.com/project-management-software-market-report> (дата обращения: 21.09.2025).

⁵ Project Management Software Global Market Report 2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/project->

[management-software-global-market-report](https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/project-management-software-global-market-report) (дата обращения: 21.09.2025).

⁶ Project Management Software - Market Share Analysis, Industry Trends & Statistics, Growth Forecasts (2025 - 2030) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4535795/project-management-software-market-share> (дата обращения: 21.09.2025).

структурой работ и иерархической организационной структурой);

- связь, выражающаяся в распределении ресурсов (между иерархической структурой работ и иерархической структурой ресурсов);

- связь, выражающаяся в распределении полномочий (между иерархической организационной структурой и иерархической структурой ресурсов).

Также иерархические структуры имеют связь с сетевой моделью проекта. Сетевая модель в данном случае формально представлена в виде взвешенного ориентированного графа, интерпретирующего процесс выполнения проекта, где вес работ (затрачиваемый ресурс) – время. Более подробно вопрос о ресурсах в сетевом планировании раскрыт в работах [28–32], в том числе особый интерес заслуживают труды, в которых исследуется вопрос о решении задач, связанных с выполнением работ в опасных условиях [33–34] или рассмотрены иные вопросы сетевого планирования работ служб экстренного реагирования [35–38]. и служб жизнеобеспечения [39–40].

Информационно-управляющие системы часто интегрируются с существующими информационными системами и бизнес-процессами организации. Важно учитывать, как они соотносятся с другими системами в организации, каковы их возможности для масштабирования и адаптации под изменяющиеся условия деятельности. Процесс интеграции должен обеспечивать минимальное воздействие на текущие процессы и поддерживать надежность данных.

В качестве рекомендаций, связанных с интеграцией информационно-управляющих систем в организацию, необходимо обозначить основной принцип подбора подобной системы: максимальная интеграция и отдача на рубль вложенных средств. Для этого, на наш взгляд, можно сформировать матрицу зависимости существующих информационных систем в организации и сопоставить с вариантами информационно-управляющих систем, доступных для интеграции в конкретной организации. Дело в том, что для ряда структур, особенно государственных, есть критерии выбора программных средств, которые могут существенно сузить возможные варианты систем. Поэтому помимо оптимизации выбора исходя из существующих связей тех систем, которые используются в организации, необходимо учитывать ограничения законодательства, а также внешнеполитические факторы (закрытость рынка, санкции).

Анализ с позиции разработки систем управления проектами для организационных систем, связанных с оперативной или служебной деятельностью

Системы управления проектами имеют широкую практику применения в организационных системах, в том числе связанных с:

- осуществлением гарнизонной и караульной службы подразделениями МЧС России⁷,

- осуществлением материально-технического и иного обеспечения подразделений МЧС России (осуществляющих гарнизонную и караульную службу).

Теоретический базис для проектирования и внедрения систем управления проектами (в виде самостоятельных систем, либо подсистем и модулей) активно развивают отечественные исследователи [35, 41–50], – анализируя данные труды, стоит отметить, что предложенные в них модели, алгоритмы, информационное и программное обеспечение систем управления можно классифицировать на три основные группы (соотносимые с некоторыми функциями проектного управления):

1. Планирование выполнения проекта в организационной системе;

2. Организация выполнения проекта в организационной системе;

3. Контроль (рефлексия) результатов реализованного проекта.

Первой особенностью данных и некоторых других работ по рассматриваемому направлению является акцентирование внимания на процедурах поддержки принятия решений в рамках некоторого процесса (выполнения «проекта»).

В качестве второй особенности стоит назвать наличие практической ориентированности исследований, так как в большинстве из них присутствуют:

- теоретические и практические положения, разработанные для решения выявленных проблем;

- положения, раскрывающие способы интеграции теоретических и практических положений в рассматриваемые организационные системы;

- теоретическую или практическую оценку эффективности внедрения предложенных решений.

Авторами [51–57] разрабатывается ряд отдельных информационных и программных решений, которые имеют узкую область

⁷ Постановление Правительства Москвы от 06.03.2018 № 159-ПП «О комплексной информационной системе мониторинга и управления силами и средствами экстренных оперативных служб города

Москвы» [Электронный ресурс]. URL <https://docs.cntd.ru/document/556741182?ysclid=mh61ax1i47804987940> (дата обращения: 21.09.2025).

применения в системе управления оперативным реагированием на пожар в городской среде, являющейся организационной.

Работы [51-54] посвящены разработке информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при оперативном поиске средств видеомониторинга на ранних этапах осуществления действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в городской среде.

В трудах [54-56] разрабатывается информационное и программное обеспечение поддержки принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе реагирования в городской среде. При этом акцент сделан на важности сведений, поступающих в режиме реального времени от камер видеонаблюдения, установленных в городской среде. Предложен метод оперативного анализа видеоинформации при осуществлении мониторинга в условиях организации реагирования сил и средств подразделений пожарной охраны на пожар.

Основным назначением разрабатываемых в виде отдельных элементов системы поддержки принятия решений в рамках некоторого процесса (выполнения соответствующего специфического «проекта») [51-54] является уменьшение времени на принятие управленческого решения на раннем этапе реагирования на пожар.

В работах [57-58]. Выделен ряд проблем, которые препятствуют внедрению проектного управления в организационных структурах МЧС России. Одной из главных проблем является сопротивление изменениям, особенно в государственных структурах, таких как МЧС. Существующие методы работы, часто основанные на текучести задач и оперативных решениях, сильно отличаются от формализованного подхода, предполагающего четкую планируемость, распределение ролей и ответственности, и документирование всех этапов. МЧС России представляет собой большую и разветвленную структуру с несколькими уровнями управления, включая федеральный, региональный и местный уровни. Каждый из этих уровней имеет свои задачи, направления работы и специфику взаимодействия с другими государственными и частными структурами.

Кроме того, в территориальных органах МЧС России зачастую отсутствует опыт работы с проектами в традиционном понимании (например, управление крупными долгосрочными проектами, такими как строительство объектов, внедрение систем, модернизация инфраструктуры). Основное внимание в этих структурах уделяется оперативному реагированию на

чрезвычайные ситуации, что требует специфического подхода.

Еще одной трудностью является переход от реактивной модели работы (когда сотрудники МЧС России действуют в ответ на ЧС) к проактивному и долгосрочному планированию с использованием проектного подхода. Это требует смены подхода к управлению, где традиционные методы управления на базе событийных реакций будут дополнены планированием, контролем и отчетностью. Именно с этой целью нами рассматривается актуальность развертывания информационно-управленческих систем в МЧС России.

Анализ преимуществ и вызовов применения информационно-управленческих систем в структурах МЧС России позволяет обобщить ключевые закономерности, важные для разработки современных систем управления проектами в организациях с оперативной или служебной спецификой деятельности. Выявленные особенности функционирования подразделений МЧС демонстрируют, что эффективность управленческих решений в условиях времени, ограниченных ресурсов и повышенной ответственности напрямую зависит от качества информационной поддержки, непрерывности обмена данными и степени интеграции технологических инструментов в общую структуру управления.

Сравнительный анализ показывает, что ИУС в таких организациях должны обладать повышенной устойчивостью, адаптивностью и надежностью, поскольку они функционируют в условиях неопределенности и часто – в режиме реального времени. Наличие продвинутых аналитических модулей, средств ситуационного моделирования, автоматизированного распределения ресурсов и инструментов прогнозирования позволяет существенно повысить точность управленческих решений и минимизировать последствия ошибок, что особенно важно для систем, выполняющих задачи жизнеобеспечения населения.

Однако вызовы, связанные с интеграцией ИУС, в частности, требования к информационной безопасности, необходимость стандартизации процессов и сопротивление персонала цифровым изменениям – формируют рамочные условия, которые должны учитываться при проектировании систем управления проектами для подобных организаций. Для подразделений оперативного назначения чрезвычайно важна эргономика, простота интерфейсов, автоматическое сокращение количества ручных операций и способность системы функционировать при деградации инфраструктуры (отказ канала связи, отсутствие электроснабжения, перегрузка сети).

Таким образом, анализ специфики МЧС России показывает, что разработка систем управления проектами для организационных структур оперативной и служебной направленности требует комплексного подхода, включающего:

- создание защищённой и отказоустойчивой архитектуры;
- обеспечение многоканальной и непрерывной информационной поддержки;
- интеграцию функционала ситуационного анализа и прогнозирования;
- учёт человеческого фактора и многоуровневую подготовку персонала;
- способность системы адаптироваться к быстро меняющимся условиям операционной обстановки.

Включение этих требований в процесс разработки ИУС позволяет создать управленческие системы, обеспечивающие высокую точность, своевременность и координированность действий при выполнении оперативных задач. Тем самым формируется технологическая база, способная поддерживать современный уровень проектного управления в условиях, где цена управленческого решения непосредственно связана с безопасностью людей и устойчивостью функционирования социально значимых инфраструктур.

ИУС являются актуальными для организаций с комплексной и многозадачной деятельностью, таких как МЧС России, а также представляют для них широкий спектр возможностей, масштабирования и адаптации функций при решении задач управления большими системами. Информационно-управляющие системы, в свою очередь, ориентированы на более локальные задачи, такие как управление ресурсами, оперативное планирование и координация действий на уровне подразделений.

Для системы МЧС России перспективы применения ИУС включают:

- увеличение оперативности анализа больших массивов данных;
- интеграцию управленческих данных на различных уровнях принятия решений;
- использование инструментов аналитики для расчета рисков и построения сценариев развития ситуаций, в том числе внутри отдельных проектов (задач).

Однако и применение информационно-управляющих систем остается важным направлением для совершенствования локальных процессов в отдельно взятых структурных подразделениях.

Выводы

Анализ применения ИУС в различных организационных структурах показывает, что эффективность управления напрямую зависит от степени интеграции технологий, качества информационной поддержки и адаптивности процессов к изменяющейся среде. ИУС позволяют систематизировать и ускорить сбор, обработку и передачу данных, обеспечивают централизованный контроль ресурсов, повышают точность и своевременность принятия управленческих решений. Особенно это важно для организаций с оперативной или служебной направленностью деятельности, где критичны скорость реагирования, координация действий подразделений и минимизация человеческого фактора.

Анализ статистики позволил сделать вывод об экстенсивном и интенсивном развитии систем управления проектами и информационных систем управления проектами. Анализ развития Глобального рынка «Project Management Software» позволил выявить тенденции роста на ближайшие годы с совокупным среднегодовым темпом роста (согласно рассмотренным источникам) от 10,67-15,57 %.

При анализе базовых положений о разработке систем управления проектами для организационных систем был рассмотрен перечень важных элементов (самостоятельных иерархических структур), которые имеют определенные взаимосвязи. Кроме иерархических структур рассмотрены вопросы сетевого планирования и приведены соответствующие примеры.

Результаты анализа, проведенного с позиции разработки систем управления проектами для организационных систем, связанных с оперативной или служебной деятельностью, показали, что достаточно активно развивается данная тема в направлении поддержки принятия решений (разрабатывается как теоретическое, так и программное обеспечение) при выполнении различных задач подразделениями пожарной охраны.

Таким образом, интеграция ИУС в организационные системы обеспечивает комплексное повышение управляемости, прозрачности и эффективности операций. В условиях оперативных и служебных структур успешная реализация таких систем способствует формированию адаптивной, отказоустойчивой и прогнозируемой инфраструктуры, способной поддерживать высокое качество принятия решений и оперативное реагирование на чрезвычайные ситуации.

Список литературы

1. Bodea C. N., Mitea C., Stanciu O. Artificial Intelligence Adoption in Project Management: Main Drivers, Barriers and Estimated Impact. Innovative Models to Revive the Global Economy. The Bucharest University of Economic Studies, 2020, pp. 758–767. <https://doi.org/10.2478/9788395815072>.
2. Marly N., Santos B. R. Artificial intelligence and project management. Project Management Institute Sweden Chapter, 2022, p. 30.
3. Мирзаянц К. С., Воробьева О. А., Головина О. Д. // Искусственный интеллект в управлении проектами: тренды, возможности, первый опыт Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2025. № 4. С. 615–621.
4. Зуб А. Т., Петрова К. С. Искусственный интеллект в корпоративном управлении: возможности и границы применения // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. № 94. С. 173–187.
5. Бамбуров В. А. Применение технологий искусственного интеллекта в корпоративном управлении // Государственная служба. 2018. Т. 20, № 3 (113). С. 23–28.
6. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами. М.: Московский психолого-социальный университет, 2005. 584 с. EDN: PFGVIJ.
7. Новиков Д. А. Методология управления. М.: Либроком, 2011. 128 с. (Серия «Умное управление»). EDN: PFGVWZ.
8. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями / В. Н. Бурков, М. В. Губко, Н. А. Коргин [и др.] // Проблемы управления. 2012. № 4. С. 2–10. EDN: PBCMMH.
9. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. М.: ЛЕНАНД, 2022. 500 с.
10. Боронина Л. Н., Сенук З. В. Основы управления проектами: учебное пособие. 2-е изд., доп. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 134 с.
11. Новиков Д. А. Управление проектами: организационные механизмы. М.: ПМСОФТ, 2007. 140 с.
12. Tausworthe R. C. The work breakdown structure in software project management, Journal of Systems and Software, 1979, vol. 1, pp. 181–186, [https://doi.org/10.1016/0164-1212\(79\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0164-1212(79)90018-9).
13. Valentin George Cretu Features of Implementing a Work Breakdown Structure in Multidisciplinary Projects. The American Journal of Management and Economics Innovations, vol. 7 (8), pp. 106–114. <https://doi.org/10.37547/tajmei/Volume07Issue08-08>.
14. Elnaz Siامي-Irdemoosa, Saeid R. Dindarloo, Mostafa Sharifzadeh, Work breakdown structure (WBS) development for underground construction, Automation in Construction, Volume 58, 2015, pp. 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.016>.
15. Supriyono S., Chasanah N., Software development project management based on work breakdown structure and ODOO ERP, J. Tek. Inform. (JUTIF), 2023. vol. 4, issue 4, pp. 893–898.
16. Feng J., Zhang F., Li M. Research on Work Breakdown Structure of IT Project. International Conference on Management and Service Science, Beijing, China, 2009, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICMSS.2009.5303208.
17. Смоленцева Т. Е. Методология построения и оценки эффективности структур иерархических многоуровневых организационных систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10. СПб., 2022. 254 с.
18. Харитонов М. А. Модели и алгоритмы управления структурой симметричных потоковых иерархий: специальность: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Волгоград, 2022. 162 с.
19. Агиева М. Т. Модели иерархического ранжирования и структуры организации: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 Ростов-на-Дону, 2003. 143 с.
20. Ерешко Ф. И., Горелов М. А. Управление организационными системами с переменной структурой // Анализ, Моделирование, Управление, Развитие социально-экономических систем (АМУР-2019): сборник научных трудов XIII Всероссийской с международным участием школы-симпозиума. Симферополь-Судак: ИП Корниенко А. А., 2019. С. 149–156. EDN: FHFUUG.
21. Синтез организационных структур в крупномасштабных проектах цифровой экономики / Н. И. Турко, А. Д. Цвиркун, А. А. Чурсин [и др.] // Автоматика и телемеханика. 2018. № 10. С. 121–142. DOI: 10.31857/S000523100001875-6. EDN: YLEOKT.
22. Jürgen Mihm, Christoph H. Loch, Dennis Wilkinson [et al.]. Hierarchical Structure and Search in Complex Organizations. Management Science, 2010, vol. 56 (5), pp. 831–848. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1148>.
23. Ерешко Ф. И. Методы принятия согласованных решений в активных иерархических системах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10. М., 1998. 329 с.
24. Ерешко Ф. И. Иерархические структуры в стратегическом планировании и управлении // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2022): труды Пятнадцатой международной конференции. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2022. С. 73–86.

25. Ерешко Ф. И., Злобин А. С. Алгоритм централизованного распределения ресурсов между активными подсистемами. Экономика и мат. методы, 1977, № 4, с. 703–713.
26. Вахранев А. В. Алгоритм распределения ресурсов между активными подсистемами // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024): труды Семнадцатой международной конференции. М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, 2024. С. 334–339. EDN: TSLLEQ.
27. Geoffrey Pettet and Ayan Mukhopadhyay and Mykel J. Kochenderfer and Abhishek Hierarchical Planning for Dynamic Resource Allocation in Smart and Connected Communities, ACM Trans. Cyber-Phys. Syst., vol. 6, issue 4, article 32, pp. 32.1-32.26.
28. Ляхов О. А. Ресурсы в сетевом планировании сложных комплексов работ // Проблемы информатики. 2013. № 1 (18). С. 27–36. EDN: PYQVPN.
29. Ляхов О. А. Сетевые модели стратегического планирования проектов // Марчукские научные чтения: труды Международной научной конференции. Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 2017. С. 563–567. EDN: YUBXUT.
30. Ляхов О. А. Ресурсные условия в моделях управления проектами // Проблемы оптимизации сложных систем: труды XVI Международной Азиатской школы-семинара. Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 2020. С. 16–21. DOI: 10.24411/9999-018A-2020-10003. EDN: OEOSWV.
31. Ляхов О. А. Комплекс программ анализа ресурсообеспеченности в оперативном управлении проектами // Проблемы оптимизации сложных систем: труды XIX Международной Азиатской школы-семинара. Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2023. С. 29–33. DOI: 10.24412/ci-35066-023-1-29-33. EDN: BUWCLS.
32. Токтошов Г. Ы., Ляхов О. А. Модели организации ремонтных работ для обеспечения работоспособности коммуникаций // Вестник СибГУТИ. 2021. № 1(53). С. 94–97. EDN: ZUSSFR.
33. Ляхов О. А. Задачи маршрутизации в минимизации облучения персонала при техническом обслуживании АЭС // Проблемы оптимизации сложных систем: труды 12-й Международной Азиатской школы-семинара. Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 2016. С. 358–363. EDN: XXSWHB.
34. Ляхов О. А. Задача минимизации доз облучения при техническом обслуживании АЭС // Проблемы информатики. 2016. № 1 (30). С. 19–25. EDN: VTYQOF.
35. Тараканов Д. В. Многокритериальные модели и методы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10. М., 2018. 340 с.
36. Тараканов, Д. В. Метод многокритериального выбора маршрутов движения пожарных в зданиях при тушении пожаров // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 4 (68). С. 120–128. EDN: YNEXOV.
37. Модель и методика оценки степени сложности зданий для организации действий пожарных подразделений / Е. В. Степанов, Чан Минь Хоанг Ха, С. Ю. Бутузов [и др.]. Технологии техносферной безопасности. 2022. Вып. 2 (96). С. 69–81. <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.2.96.69-81>.
38. Модель и методика оценки степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре / Е. В. Степанов, М. Х. Х. Чан, Б. Б. Гринченко [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 47–56. EDN: DGCRVX.
39. Kinzhalieva A. R., Khanova A. A. Structural Analysis of the Pricing for the Power Grid Company Team Management Process Based on the System Dynamics Model. In: Kravets, A.G., Bolshakov, A.A., Shcherbakov, M. (eds) Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. Studies in Systems, Decision and Control, 2022, vol 416. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95112-2_16.
40. Кинжалиева А. Р., Ханова А. А. Имитационная модель управления оперативно-выездными бригадами электросетевой компании // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2020. № 2-3(79). С. 77–94. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-2-3-77-94. EDN: TIDPSN.
41. Самарин И. В. Методы, модели и алгоритмы автоматизации организационного управления пожаровзрывобезопасностью объектов топливно-энергетического комплекса: специальности: дис. ... д-ра техн. наук: 2.3.4; 2.3.3. М., 2022. 446 с.
42. Денисов А. Н. Методы, модели и алгоритмы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров: специальность: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10. М., 2018. 406 с.
43. Сибирияков М. В. Информационно-аналитическая поддержка управления оперативными пожарно-спасательными подразделениями: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М., 2018. 142 с.

44. Степанов О.И., Информационно-аналитическое обеспечение управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в жилом секторе: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М., 2019. 192 с.

45. Береснев Д. С. Информационно-аналитические модели и алгоритмы поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М., 2019. 135 с.

46. Гринченко Б. Б. Модели и алгоритмы поддержки управления безопасностью участников тушения пожара: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М., 2020. 155 с.

47. Аристархов В.А. Модели и алгоритмы управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.4. М., 2022. 189 с.

48. Зайченко Ю.С. Модель и алгоритмы поддержки управления распределением пожарных автомобилей в территориальные пожарно-спасательные гарнизоны: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.4. М., 2022. 150 с.

49. Кузнецов А.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.4. М., 2023. 150 с.

50. Михайлов К. А. Модель и алгоритм поддержки принятия решений по применению средств мониторинга при тушении пожаров в зданиях текстильных производств: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.4. М., 2024. 165 с.

51. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625315 Российская Федерация. Информационное обеспечение поддержки принятия решений по оперативному выбору приоритетных для применения средств видеомониторинга на раннем этапе реагирования подразделений пожарной охраны в городской среде / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. заявл. 01.11.2024; опубл. 19.11.2024, Бюл. № 11. EDN: CWFVJZ.

52. Апарин А. А. Информационное обеспечение поддержки принятия решений при оперативном поиске средств видеомониторинга // Новые технические, организационные и методические решения в области пожарной безопасности: сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых, приуроченной ко Дню российской науки. Балашиха: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. С. 114–118. EDN: LQQTHT.

53. Апарин А. А., Семенов А. О., Разумова Е. Ф. Анализ программного обеспечения

для работы со средствами видеомониторинга пожара в городской среде // Наука XXI века: вызовы, становление, развитие: сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2025. С. 250–254. EDN: BHLWQK.

54. Апарин А. А. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при реагировании на пожар в городской среде // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3 (52). С. 105–111. EDN: CYYSSK.

55. Апарин А. А. Программный комплекс для поддержки принятия решений при видеомониторинге пожаров в городской среде // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново. Иваново: 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», 2023. С. 973–976. EDN NHGDVY.

56. Апарин А. А. Имитационное моделирование времени продвижения первого прибывающего отделения на автоцистерне по дворовой территории многоквартирных домов // Системы безопасности: материалы международной научно-технической конференции. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. № 33-1. С. 151–153. EDN: CVPDJD.

57. Елизарова А. А., Закинчак А. И. Реализация проектного подхода в проблемно-ориентированных системах управления обеспечением безопасности региона // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 19–28.

58. Закинчак А. И. Разработка проблемно-ориентированной системы управления инфраструктурой безопасности городской среды // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 3 (40). С. 68–75.

References

1. Bodea C. N., Mitea C., Stanciu O. Artificial Intelligence Adoption in Project Management: Main Drivers, Barriers and Estimated Impact. Innovative Models to Revive the Global Economy. The Bucharest University of Economic Studies, 2020, pp. 758–767. <https://doi.org/10.2478/9788395815072>.

2. Marly N., Santos B. R. Artificial intelligence and project management. Project Management Institute Sweden Chapter, 2022, p. 30.
3. Mirzaiants K. S., Vorobeva O. A., Golovina O. D. *Iskusstvennyi intellekt v upravlenii proektami: trendy, vozmozhnosti, pervyi opyt* [Artificial intelligence in project management: trends, opportunities, first experience]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Ekonomika i pravo»*, 2025, issue 4, pp. 615–621.
4. Zub A. T., Petrova K. S. *Iskusstvennyi intellekt v korporativnom upravlenii: vozmozhnosti i granitsy primeneniia* [Artificial intelligence in corporate governance: possibilities and limits of application]. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik*, 2022, issue 94, pp. 173–187.
5. Bamburov V. A. *Primenenie tekhnologii iskusstvennogo intellekta v korporativnom upravlenii* [Application of artificial intelligence technologies in corporate governance]. *Gosudarstvennaia sluzhba*, 2018, issue 20, vol. 3 (113), pp. 23–28.
6. Novikov D. A. *Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami* [Theory of management of organizational systems]. Moscow: Moskovskii psikhologo-sotsialnyi universitet, 2005. 584 p. EDN: PFGVIJ.
7. Novikov D. A. *Metodologiya upravleniia* [Management methodology]. (Seriya «Umnoe upravlenie»). Moscow: Librokom, 2011. 128 p. EDN: PFGVWZ.
8. *Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami i drugie nauki ob upravlenii organizatsiiami* [The theory of management of organizational systems and other sciences of organization management] / V. N. Burkov, M. V. Gubko, N. A. Korgin [et al.]. *Problemy upravleniia*, 2012, issue 4, pp. 2–10. EDN: PBCMMH.
9. Novikov D. A. *Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami* [Organizational systems management theory]. 4-e izd., ispr. i dopoln. Moscow: LENAND, 2022. 500 p.
10. Boronina L. N., Senuk Z. V. *Osnovy upravleniia proektami: uchebnoye posobiye*. [Fundamentals of project management: tutorial]. M-vo obrazovaniia i nauki Ros. Federatsii, Ural. feder. un-t. 2-e izd., dop. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. 134 p.
11. Novikov D. A. *Upravlenie proektami: organizatsionnye mekhanizmy* [Project management: organizational mechanisms]. Moscow: PMSOFT, 2007. 140 p.
12. Tausworthe R. C. The work breakdown structure in software project management, *Journal of Systems and Software*, 1979, vol. 1, pp. 181–186, [https://doi.org/10.1016/0164-1212\(79\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0164-1212(79)90018-9).
13. Valentin George Cretu Features of Implementing a Work Breakdown Structure n Multi-disciplinary Projects. *The American Journal of Management and Economics Innovations*, vol. 7 (8), pp. 106–114. <https://doi.org/10.37547/tajmei/Volume07Issue08-08>.
14. Elnaz Siامي-Irdemoosa, Saeid R. Dindarloo, Mostafa Sharifzadeh, *Work breakdown structure (WBS) development for underground construction*, *Automation in Construction*, Volume 58, 2015, pp. 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.016>.
15. Supriyono S., Chasanah N., *Software development project management based on work breakdown structure and ODOO ERP*, *J. Tek. Inform. (JUTIF)*, 2023. vol. 4, issue 4, pp. 893–898.
16. Feng J., Zhang F., Li M. Research on Work Breakdown Structure of IT Project. *International Conference on Management and Service Science*, Beijing, China, 2009, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICMSS.2009.5303208.
17. Smolentseva T. E. *Metodologiya postroeniia i otsenki effektivnosti struktur ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh organizatsionnykh sistem*. Diss. d-ra tekhn. nauk [Methodology for constructing and evaluating the effectiveness of hierarchical multilevel organizational systems. Dr. tech. sci. diss.]. SPb., 2022. 254 p.
18. Kharitonov M. A. *Modeli i algoritmy upravleniia strukturoi simmetrichnykh potokovykh ierarkhi*. Diss. kand. tekhn. nauk [Models and algorithms for controlling the structure of symmetric flow hierarchies. Cand. tech. sci. diss.]. Volgograd, 2022. 162 p.
19. Agieva M. T. *Modeli ierarkhicheskogo ranzhirovaniia i struktury organizatsii* Diss. kand. tekhn. nauk [Hierarchical ranking models and organization structures. Cand. tech. sci. diss.]. Rostov-na-Donu, 2003. 143 p.
20. Ereshko F. I., Gorelov M. A. *Upravlenie organizatsionnymi sistemami s peremennoi strukturoi* [Management of organizational systems with a variable structure]. *Analiz, Modelirovanie, Upravlenie, Razvitie sotsialno-ekonomicheskikh sistem (AMUR-2019): sbornik nauchnykh trudov XIII Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiyem shkoly-simpoziuma*. Simferopol-Sudak: IP Kornienko A. A., 2019. Pp. 149–156. EDN: FHFUUG.
21. *Sintez organizatsionnykh struktur v krupnomasshtabnykh proektakh tsifrovoi ekonomiki* [Synthesis of organizational structures in large-scale digital economy projects] / N. I. Turko, A. D. Tsvirkun, A. A. Chursin [et al.]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2018, issue 10, pp. 121–142. DOI: 10.31857/S000523100001875-6. EDN: YLEOKT.
22. Jürgen Mihm, Christoph H. Loch, Dennis Wilkinson [et al.]. *Hierarchical Structure and Search in Complex Organizations*. *Management Science*, 2010, vol. 56 (5), pp. 831–848. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1148.23>.
23. Ereshko F. I. *Metody priniatiia soglasovannykh reshenii v aktivnykh ierarkhicheskikh*

sistemakh Diss. d-ra tekhn. nauk [Methods of making coordinated decisions in active hierarchical systems. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 1998. 329 p.

24. Ereshko F. I. Ierarkhicheskie struktury v strategicheskoy planirovani i upravlenii [Hierarchical structures in strategic planning and management]. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD2022): trudy Piatnadsatoi mezhdunarodnoi konferentsii / Pod obshchei redaktsiei S. N. Vasileva, A. D. Tsvirkuna*. Moscow: Institut problem upravleniia im. V. A. Trapeznikova RAN, 2022. Pp. 73–86.

25. Ereshko F. I., Zlobin A. S. Algoritm tsentralizovannogo raspredeleniia resursov mezhdu aktivnymi podsistemami [The algorithm of centralized resource allocation between active subsystems]. *Ekonomika i mat. metody*, 1977, issue 4, pp. 703–713.

26. Vakhranov A. V. Algoritm raspredeleniia resursov mezhdu aktivnymi podsistemami [The algorithm of resource allocation between active subsystems]. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD2024): trudy Semnadsatoi mezhdunarodnoi konferentsii*. Moscow: Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethoe uchrezhdenie nauki Institut problem upravleniia im. V. A. Trapeznikova Rossiiskoi akademii nauk, 2024. Pp. 334–339. EDN: TSLLEQ.

27. Geoffrey Pettet and Ayan Mukhopadhyay and Mykel J. Kochenderfer and Abhishek Hierarchical Planning for Dynamic Resource Allocation in Smart and Connected Communities, *ACM Trans. Cyber-Phys. Syst.*, Vol. 6, No. 4, Article 32, pp. 32.1–32.26: November 2022.

28. Liakhov O. A. Resursy v setevom planirovanii slozhnykh kompleksov rabot [Resources in network planning of complex work complexes]. *Problemy informatiki*, 2013, vol. 1 (18), pp. 27–36. EDN: PYQVPN.

29. Liakhov O. A. Setevye modeli strategicheskogo planirovaniia proektov [Network models of strategic project planning]. *Marchukovskie nauchnye chteniia – 2017: trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Novosibirsk: Institut vychislitelnoi matematiki i matematicheskoi geofiziki Sibirskogo otdeleniia RAN, 2017. Pp. 563–567. EDN: YUBXUT.

30. Liakhov O. A. Resursnye usloviia v modeliakh upravleniia proektami [Resource conditions in project management models]. *Problemy optimizatsii slozhnykh sistem: trudy XVI Mezhdunarodnoi Aziatskoi shkoly-seminara*. Novosibirsk: Institut vychislitelnoi matematiki i matematicheskoi geofiziki Sibirskogo otdeleniia RAN, 2020. Pp. 16–21. DOI: 10.24411/9999-018A-2020-10003. EDN: OEOSWV.

31. Liakhov O. A. Kompleks programm analiza resursoobespechennosti v operativnom upravlenii proektami [A set of resource availability analysis programs in operational project

management]. *Problemy optimizatsii slozhnykh sistem: trudy XIX Mezhdunarodnoi Aziatskoi shkoly-seminara*. Novosibirsk: Institut vychislitelnoi matematiki i matematicheskoi geofiziki SO RAN, 2023. Pp. 29–33. DOI: 10.24412/cl-35066-023-1-29-33. EDN: BUWCLS.

32. Toktoshov G. Y., Liakhov O. A. Modeli organizatsii remontnykh rabot dlia obespecheniia rabotosposobnosti kommunikatsii [Models for organizing repair work to ensure the operability of communications]. *Vestnik SibGUTI*, 2021, vol. 1 (53), pp. 94–97. EDN: ZUSSFR.

33. Liakhov O. A. Zadachi marshrutizatsii v minimizatsii oblucheniia personala pri tekhnicheskoy obsluzhivani AES [Routing tasks are to minimize personnel exposure during NPP maintenance]. *Problemy optimizatsii slozhnykh sistem: trudy 12-i Mezhdunarodnoi Aziatskoi shkoly-seminara / Pod redaktsiei S. I. Kabanikhina, A. V. Kelmanova, A. S. Rodionova*. Novosibirsk: Institut vychislitelnoi matematiki i matematicheskoi geofiziki Sibirskogo otdeleniia RAN, 2016. Pp. 358–363. EDN: XXSWHB.

34. Liakhov O. A. Zadacha minimizatsii doz oblucheniia pri tekhnicheskoy obsluzhivani AES [The task of minimizing radiation doses during NPP maintenance]. *Problemy informatiki*, 2016, vol. 1 (30), pp. 19–25. EDN: VTYQOF.

35. Tarakanov D. V. Mnogokriterialnye modeli i metody podderzhki upravleniia pozharnymi podrazdeleniiami na osnove monitoringa dinamiki pozhara v zdanii. Diss. d-ra tekhn. nauk [Multi-criteria models and methods of fire department management support based on monitoring of fire dynamics in a building. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2018. 340 p.

36. Tarakanov D. V. Metod mnogokriterialnogo vybora marshrutov dvizheniia pozharnykh v zdaniakh pri tushenii pozharov [The method of multi-criteria selection of routes for firefighters in buildings when extinguishing fires]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2016, vol. 4 (68), pp. 120–128. EDN: YNEXOV.

37. Model i metodika otsenki stepeni slozhnosti zdaniia dlia organizatsii deistvii pozharnykh podrazdelenii [A model and methodology for assessing the degree of complexity of buildings for organizing the actions of fire departments] / E. V. Stepanov, Chan Min Khoang Kha, S. Iu. Butuzov [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2022, vol. 2 (96), pp. 69–81. <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.2.96.69-81>.

38. Model i metodika otsenki stepeni slozhnosti sistemy upravleniia pozharno-spasatelnyimi podrazdeleniiami na pozhare [A model and methodology for assessing the degree of complexity of the fire and rescue management system in a fire] / E. V. Stepanov, M. Kh. Kh. Chan, B. B. Grinchenko [et al.]. *Sovremennye problemy*

grazhdanskoi zashchity, 2023, vol. 1 (46), pp. 47–56. EDN: DGCRVX.

39. Kinzhalieva A. R., Khanova A. A. Structural Analysis of the Pricing for the Power Grid Company Team Management Process Based on the System Dynamics Model. In: Kravets, A.G., Bolshakov, A.A., Shcherbakov, M. (eds) *Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. Studies in Systems, Decision and Control*, 2022, vol 416. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95112-2_16. 40.

40. Kinzhalieva A. R., Khanova A. A. Imitatsionnaya model upravleniya operativno-vyezdnyimi brigadami elektrosetevoi kompanii [Simulation model of management of operational field teams of an electric grid company]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, vol. 2-3(79), pp. 77–94. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-2-3-77-94. EDN: TIDPSN.

41. Samarin I. V. Metody, modeli i algoritmy avtomatizatsii organizatsionnogo upravleniya pozharovzryvobezопасnostiu obiektov toplivno-energeticheskogo kompleksa. Diss. d-ra tekhn. nauk [Methods, models and algorithms for automating organizational fire and explosion safety management of fuel and energy complex facilities. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2022. 446 p.

42. Denisov A. N. Metody, modeli i algoritmy podderzhki upravleniya pozharo-spasatelnyimi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov. Diss. d-ra tekhn. nauk [Methods, models, and algorithms for fire and rescue management support in fire-fighting. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2018. 406 p.

43. Sibiriakov M. V. Informatsionno-analiticheskaya podderzhka upravleniya operativnymi pozharo-spasatelnyimi podrazdeleniyami: spetsialnost. Diss. kand. tekhn. nauk [Information and analytical support for the management of operational fire and rescue units. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2018. 142 p.

44. Stepanov O. I. Informatsionno-analiticheskoe obespechenie upravleniya pozharными podrazdeleniyami pri tushenii pozharov v zhilom sektore. Diss. kand. tekhn. nauk [Information and analytical support for the management of fire departments in extinguishing fires in the residential sector. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2019. 192 p.

45. Beresnev D. S. Informatsionno-analiticheskie modeli i algoritmy podderzhki upravleniya poiskovo-spasatelnyimi operatsiyami v prirodnoi srede. Diss. kand. tekhn. nauk [Information and analytical models and algorithms to support the management of search and rescue operations in the natural environment. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2019. 135 p.

46. Grinchenko B. B. Modeli i algoritmy podderzhki upravleniya bezопасnostiu uchastnikov tusheniya pozhara. Diss. kand. tekhn. nauk [Models

and algorithms to support the safety management of fire extinguishing participants. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2020. 155 p.

47. Aristarkhov V. A. Modeli i algoritmy upravleniya tekhnicheskoi gotovosti pozharo-spasatelnykh podrazdelenii. Diss. kand. tekhn. nauk [Models and algorithms for managing the technical readiness of fire and rescue units. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2022. 189 p.

48. Zaichenko Iu. S. Model i algoritmy podderzhki upravleniya raspredeleniem pozharных avtomobilei v territorialnye pozharo-spasatelnye garnizony. Diss. kand. tekhn. nauk [A model and algorithms for managing the distribution of fire trucks to territorial fire and rescue garrisons. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2022. 150 p.

49. Kuznetsov A. V. Modeli i algoritmy podderzhki priniatiya upravlencheskikh reshenii pri monitoringe krupnykh pozharov. Diss. kand. tekhn. nauk [Models and algorithms to support management decision-making in monitoring large fires. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2023. 150 p.

50. Mikhailov K. A. Model i algoritmy podderzhki priniatiya reshenii po primeneniiu sredstv monitoringa pri tushenii pozharov v zdaniyakh tekstilnykh proizvodstv. Diss. kand. tekhn. nauk [A model and algorithm for decision support on the use of monitoring tools for extinguishing fires in textile production buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2024. 165 p.

51. Aparin A. A., Tarakanov D. V., Semenov A. O. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2024625315 Rossiiskaya Federatsiya. Informatsionnoe obespechenie podderzhki priniatiya reshenii po operativnomu vyboru prioritnykh dlia primeniya sredstv monitoringa na rannem etape reagirovaniya podrazdelenii pozharnoi okhrany v gorodskoi srede [Information support for decision-making on the operational selection of priority video monitoring tools at an early stage of the response of fire protection units in the urban environment]. Byul. № 11. EDN: CWFVJZ.

52. Aparin A. A. Informatsionnoe obespechenie podderzhki priniatiya reshenii pri operativnom poiske sredstv videomonitoringa [Information support for decision-making in the operational search for video monitoring tools]. *Novye tekhnicheskie, organizatsionnye i metodicheskie resheniya v oblasti pozharnoi bezопасnosti: sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, priurochennoi ko Dniu rossiiskoi nauki*. Balashikha: Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethoe uchrezhdenie «Vserossiiskii ordena Znak Pocheta nauchno-issledovatel'skii institut protivopozharnoi oborony Ministerstva Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoi oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstvii», 2025. Pp. 114–118. EDN: LQQTHT.

53. Aparin A. A., Semenov A. O., Razumova E. F. Analiz programmnogo obespecheniia dlia raboty so sredstvami videomonitoringa požara v gorodskoi srede [Analysis of software for working with video fire monitoring tools in an urban environment]. *Nauka XXI veka: vyzovy, stanovlenie, razvitie: sbornik statei XXIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyi tsentr nauchnogo partnerstva «Novaia Nauka» (IP Ivanovskaia I. I.), 2025. Pp. 250–254. EDN: BHLWQK.

54. Aparin A. A. Modeli i algoritmy podderzhki priniatiia upravlencheskikh reshenii pri reagirovanii na požar v gorodskoi srede [Models and algorithms to support management decision-making in responding to a fire in an urban environment]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2024, vol. 3 (52), pp. 105–111. EDN: CYYSSK.

55. Aparin A. A. Programmnyi kompleks dlia podderzhki priniatiia reshenii pri videomonitoringe požarov v gorodskoi srede [A software package to support decision-making in video monitoring of fires in an urban environment]. *Požarnaia i avariinaia bezopasnost: sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ivanovo: Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Ivanovskaia požarno-spasatelnaia akademiia Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby Ministerstva Rossiiskoi Federatsii po delam

grazhdanskoi oborony, chrezvychainym situatsiiam i likvidatsii posledstviu stikhiinykh bedstviu», 2023. Pp. 973–976. EDN: NHGDVY.

56. Aparin A. A. Imitatsionnoe modelirovanie vremeni prodvizheniia pervogo priblyvushchego otdeleniia na avtotsisterne po dvorovoi territorii mnogokvartirnykh domov [Simulation of the time of movement of the first arriving department on a tanker truck through the courtyard area of apartment buildings]. *Sistemy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii*. Moscow: Akademiya Gosudarstvennoy protivopozharnoi sluzhby, 2024, vol. 33-1, pp. 151–153. EDN: CVPDJD.

57. Elizarova A. A., Zakinchak A. I. Realizatsiya proektnogo podkhoda v problemnoorientirovannykh sistemakh upravleniia obespecheniem bezopasnosti regiona [Implementation of the project approach in problem-oriented security management systems of the region]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 19–28.

58. Zakinchak A. I. Razrabotka problemno-orientirovannoi sistemy upravleniia infrastrukturou bezopasnosti gorodskoi sredy [Development of a problem-oriented urban security infrastructure management system]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2021, vol. 3 (40), pp. 68–75.

Данилов Павел Владимирович

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

Danilov Pavel Vladimirovich

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

Апарин Александр Александрович

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

Aparin Alexander Alexandrovich

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

Закинчак Андрей Игоревич

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

кандидат экономических наук, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС

E-mail: zakinchak@mail.ru

Zakinchak Andrey Igorevich

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 economics sciences, associate professor

E-mail: zakinchak@mail.ru

УДК 351.78

DOI 10.48612/ntp/hr5e-7rp7-bb7f

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

Л. Ю. ПУШИНА¹, Р. В. НИЗОВ²

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

² Главное управление МЧС России по Нижегородской области,
Российская Федерация, г. Нижний Новгород
E-mail: bas2808@yandex.ru, nizoff2705@mail.ru

В работе характеризуются методологические проблемы, имеющие место в реализации оценки эффективности деятельности органов власти: необходимость разграничения между оценкой эффективности государственного управления и оценкой его качества и результативности; сложность применения классической «затратной» модели оценки эффективности к деятельности органов власти и выбора параметров для оценки. Обосновывается выбор «результативной» модели оценки эффективности государственного управления.

На основе анализа нормативно-правовых актов, регламентирующих работу органов государственной власти субъектов Российской Федерации в области управления безопасностью жизнедеятельности, определяются параметры и показатели для оценки эффективности государственного управления в данной сфере. Демонстрируются возможности методики оценки эффективности деятельности органов власти, разработанной с использованием указанных параметров.

Ключевые слова: управление безопасностью жизнедеятельности, государственное управление, органы государственной власти, оценка эффективности.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PUBLIC AUTHORITIES IN THE FIELD OF MANAGING THE SAFETY OF THE REGION'S POPULATION: PROBLEMS AND POSSIBLE SOLUTIONS

L. YU. PUSHINA¹, R. V. NIZOV²

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 The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Nizhny Novgorod region
Russian Federation, Nizhny Novgorod
E-mail: bas2808@yandex.ru, nizoff2705@mail.ru

The paper describes the methodological problems that arise in the implementation of the assessment of the effectiveness of public authorities: the need to distinguish between the assessment of the effectiveness of public administration and the assessment of its quality and performance; the complexity of applying the classical «cost-based» model of assessing the effectiveness of public authorities and selecting the parameters for assessment. The paper substantiates the choice of the «performance-based» model of assessing the effectiveness of public administration.

Based on the analysis of the regulatory legal acts regulating the work of public authorities of the constituent entities of the Russian Federation in the field of life safety management, the parameters and indicators for assessing the effectiveness of public administration in this area are determined. The article demonstrates the possibilities of a methodology for assessing the effectiveness of government bodies, developed using the specified parameters.

Key words: life safety management, public administration, public authorities, performance assessment.

Социальная значимость обеспечения безопасности жизнедеятельности (БЖД) населения не подлежит сомнению. Недаром в многочисленных выступлениях Президента Российской Федерации и в документах стратегического планирования в качестве приоритетной цели, на достижение которой направлена деятельность современного российского государства, указано сбережение народа России. Причем, если в прежней редакции Стратегии национальной безопасности РФ¹ такая цель не была обозначена вообще, то в ныне действующей² она поставлена на первое место.

Понятно, что одним из важнейших условий сбережения народа является обеспечение безопасности его жизнедеятельности. Это актуализирует изучение проблем управления безопасностью жизнедеятельности (УБЖД) и, в том числе, вопросов, связанных с оценкой эффективности соответствующей деятельности органов государственной власти.

Цель данного исследования состоит в разработке параметров для оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации в сфере УБЖД.

Реализация этой цели предполагает решение ряда проблем методологического характера.

Во-первых, необходимо определиться со значением термина «управление безопасностью жизнедеятельности», который является сравнительно новым для отечественной науки и практики социального управления и трактуется различными авторами очень по-разному. Однако, обсуждение этого вопроса является темой для целой статьи, поэтому в данной работе приведем лишь определение, к которому мы пришли ранее: управление безопасностью жизнедеятельности – это целенаправленная деятельность государства, граждан и организаций по выработке и реализации комплекса мер, ориентированных на предотвращение или снижение вероятности возникновения природных и техногенных опасностей и угроз жизни и здоровью людей, обществу, государству и на минимизацию их последствий [1]. Таким образом, УБЖД представляет собой многоуровневую деятельность, в которой задействованы государство, социальные организации и граждане. В рамках данной статьи нас будет интересовать только деятельность органов государственного управления в области УБЖД, различными

асpekтами которой являются защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, гражданская оборона (ГО), обеспечение пожарной безопасности (ПБ), обеспечение безопасности на водных объектах.

Во-вторых, необходимо разобраться с тем, что представляет собой оценка эффективности государственного управления (оценка эффективности деятельности органов государственной власти), и каким образом могут быть определены параметры для ее измерения.

Начнем с того, что государственное управление есть механизм реализации государством его властных полномочий по руководству, организации и целенаправленному воздействию на общество и все его подсистемы [2, с. 10]. Если интерпретировать термин «государственное управление» широко, то под ним следует понимать управление делами общества, осуществляемое государством *в целом*, т. е. всеми ветвями власти, всеми государственными учреждениями и организациями; узкий подход состоит в том, что госуправление – это исполнительно-распорядительная и контрольно-надзорная деятельность органов исполнительной власти [2, с. 12]. В данной работе мы будем применять термин «государственное управление» («госуправление») преимущественно в его узком значении.

Специалисты констатируют, что в зарубежной и отечественной науке и практике не было выработано единого подхода к осуществлению оценки эффективности госуправления [3, с. 36]. Более того, само соответствующее понятие, хотя активно применяется, не имеет устоявшегося и однозначного толкования [4, 5].

Нужно отметить, что в контексте оценки деятельности органов власти (ОВ), помимо понятия «оценка эффективности», применяются еще два – «оценка результативности» и «оценка качества». Причем первый из указанных терминов зачастую используется в значении второго или третьего; иначе говоря, его смысл подменяется смыслом других, связанных с ним, но не тождественных понятий. Перечисленные термины не являются синонимичными, поэтому замещение одного другим следует признать некорректным. В этой связи представляется необходимым прояснить смысл каждого из них.

¹ Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683).

² Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 02.07.2021 № 400).

Оценка качества представляет собой определение меры соответствия свойств предмета или явления их сущности [5, с. 13].

Согласно Конституции нашей страны, Российская Федерация – социальное государство, «политика которого направлена на создание условий, обеспечивающих достойную жизнь и свободное развитие человека» (ст. 7); обязанность государства, смысл и назначение его деятельности в конечном итоге состоят в признании, соблюдении и защите прав и свобод человека и гражданина (ст. 2)³. Таким образом, если при оценке госуправления рассматриваются его цели, их соответствие интересам и потребностям людей, то, по-видимому, следует говорить именно о качестве государственно-управленческой деятельности, а не о ее эффективности [6]. Или, поскольку главным результатом деятельности в сфере госуправления является ее социальный эффект (создание для населения благоприятных условий, в том числе, и за счет оказания государственных услуг), в данном контексте оправданно использование термина «социальная эффективность госуправления». Социальный эффект состоит в создании для населения благоприятных условий (в том числе, и за счет оказания государственных услуг); социальная эффективность госуправления выражается в динамике уровня и качества жизни населения. Социальный эффект почти никогда нельзя измерить количественно, поэтому под оценкой социальной эффективности подразумевают качественную оценку деятельности ОВ, определяемую опять-таки соответствием цели органа власти потребностям населения [5, с. 16, 54–55].

Целенаправленная деятельность органов госуправления по решению общественных и международных проблем, развитию общества, обеспечению безопасности обозначается в российской науке понятием «государственная политика»; государственная политика выступает одним из элементов государственного управления [7, с. 16]. Таким образом, если речь идет о целях госуправления, то, по сути, оценивается качество государственной политики (иногда в данном контексте используется термин «эффективность государственной политики»).

Специалисты подчеркивают, что качество (эффективность) государственной политики необходимо оценивать отдельно от эффективности реализации политики, т. е. собственно от эффективности деятельности властных структур: органы власти могут прекрасно исполнять свои функции, осуществляя плохо продуманную, неэффективную с точки зрения ее целей политику, но может иметь место и

обратная ситуация, когда грамотная в целом политика неудачно реализуется [3, 8].

Оценка качества госуправления (качества государственной политики, либо социальной эффективности госуправления) предполагает, что ее объектом будут выступать конечные результаты деятельности органов власти, значимые для общества; в этом случае субъектом оценки будут являться граждане, а сама оценка будет формироваться на основе демократических форм выражения общественного мнения (например, голосования) [8, с. 55]. В этом случае могут использоваться методики оценки качества жизни, которые базируются, прежде всего, на социологических опросах, направленных на изучение удовлетворенности населения основными составляющими качества жизни [5, с. 54–55].

Под оценкой результативности деятельности понимают степень достижения ожидаемого результата [5, с. 13]. Соответственно результативность госуправления трактуют как степень достижения поставленных целей (ожидаемых результатов) властно-управленческой деятельности [9, с. 8]. При этом, если использовать термин «результативность» корректно, качественная (содержательная) характеристика самих целей, затраты на их достижение, а также социальные, политические или иные последствия их реализации не должны приниматься во внимание, значение должна иметь лишь степень достижения целей – достигнуты полностью, частично, или не достигнуты. Таким образом, оценка результативности деятельности органов власти может базироваться на предельно конкретной количественной фиксации ожидаемого результата в различных документах стратегического планирования, программах, проектах и пр., а суть ее будет состоять в соотношении запланированных результатов деятельности с реально полученными [9, с. 9].

При этом работе ОВ будет дана не количественная, а качественная оценка. Как правило, с помощью шкалы, которая позволяет охарактеризовать эту работу как, удовлетворительную, хорошую или отличную. Шкала предварительно разрабатывается на основе субъективных представлений ее авторов, поэтому и оценка деятельности ОВ в этом случае может отличаться субъективизмом. Кроме того, диапазон, в пределах которого деятельность ОВ может быть оценена как, к примеру, хорошая, может быть достаточно большим. А это делает оценку некорректной и не всегда справедливой.

³ Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями,

одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020).

Так, согласно утвержденным МЧС России 14 февраля 2022 г. Методическим рекомендациям⁴, степень готовности функциональных и территориальных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) к реализации возложенных на них задач должна определяться по факту достижения ими установленного порогового значения. Например, для оценки степени готовности по критерию «Организация оповещения населения о чрезвычайных ситуациях» в числе прочих используются такие пороговые значения:

– «готова к выполнению возложенных задач», если не менее 75 % населения субъекта РФ в случае необходимости будет оповещено централизованно техническими средствами оповещения в автоматизированном режиме;

– «ограниченно готова к выполнению возложенных задач», если таким образом может быть оповещено не менее 65 % населения региона.

Согласно логике, положенной в основу данной методики, если 75 % населения региона может быть централизованно оповещено о ЧС техническими средствами оповещения в автоматизированном режиме, данный аспект деятельности территориальной подсистемы РСЧС может быть оценен положительно. В связи с этим органы исполнительной власти субъекта РФ могут принять ошибочное решение не выделять финансовых средств на дальнейшее развитие системы оповещения. При этом четверть (!) населения региона в случае необходимости не будет в автоматизированном режиме оповещена о возникновении или о возможности возникновения чрезвычайной ситуации [10, с. 183].

Итак, оценка результативности госуправления, хоть и базируется на количественных параметрах, является качественной и может быть достаточно субъективной и некорректной.

Несмотря на имеющиеся в научном сообществе разночтения, в самом общем виде под эффективностью обычно понимают «соотношение между полученным результатом и некоторой характеристикой фактора (ресурса), использованного для достижения данного результата» [11, с. 193].

Специалисты предлагают различные подходы к определению эффективности госуправления.

Один из них состоит в том, что эффективность деятельности ОВ можно установить на основе количественного соотношения между целевым образом израсходованными

ресурсами и результатами управления [9, с. 10]. Об эффективности в этом случае будет свидетельствовать либо достижение заданного результата (например, определенного объема предоставленных населению госуслуг) при минимуме затраченных ресурсов (финансовых, временных, информационных и пр.), либо получение наилучшего (максимального) результата при заданном объеме ресурсов [3].

Однако, понимаемую так оценку эффективности госуправления весьма сложно осуществить на практике. Соответствующие трудности специалисты объясняют, в числе прочего, сложностью и иерархической структурой государства как объекта управления; проблемами, связанными с получением достоверной исходной информации, а главное – трудностями определения и измерения необходимых для осуществления такой оценки показателей деятельности ОВ [5, с. 17].

Показатель эффективности представляет собой средство измерения уровня эффективности [12, с. 33]; это описательный или количественный индикатор, характеризующий результат деятельности или успешность движения к достижению поставленной цели [5, с. 42].

В ситуации с оценкой эффективности госуправления проблема заключается в том, что используемые для этого показатели должны представлять собой выраженные количественно и соизмеримые друг с другом характеристики деятельности ОВ по реализации их конкретных полномочий, которые при этом должны соотноситься с результатами соответствующих действий и решений органов власти [9, с. 11]. Именно соотношение одного с другим и составляет основную трудность: с одной стороны, в качестве показателей для оценки деятельности ОВ должны избираться только такие из них, на формирование или динамику которых органы власти в соответствии с объемом своих полномочий и ресурсов могут оказывать конкретное воздействие, с другой, – достаточно сложно вычленив из множества факторов, обуславливающих ситуацию в регионе, роль самого управленческого воздействия [9, с. 5-6].

Так, исследуя возможности оценки эффективности деятельности органов Государственного пожарного надзора (ГПН) в сфере профилактики пожаров специалисты справедливо отмечают, что показатели успешности этой деятельности – уменьшение количества пожаров, сокращение материального ущерба от них, снижение показателей травмирования и гибели людей – это комплексные показатели, на величину которых влияют демографические, социально-

⁴ Методические рекомендации по определению готовности функциональных и территориальных подсистем единой государственной системы

предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (утв. МЧС России 14.02.2022 № 2-4-71-3-11).

экономические, природно-климатические и другие детерминанты. Иначе говоря, факторы, определяющие снижение показателей гибели и травмирования людей при пожаре, не всегда обусловлены деятельностью сотрудников ГПН, и, следовательно, вклад именно надзорных органов в это снижение оценить нельзя. Кроме того, профилактика пожаров и подготовка населения в области пожарной безопасности находятся в зоне ответственности не одного, а нескольких ведомств; финансовое обеспечение соответствующих мероприятий осуществляется из различных бюджетных источников; сложно (если вообще возможно!) рассчитать «стоимость» человеческой жизни и т. д. Таким образом, определить экономическую эффективность мероприятий в сфере профилактики пожаров не представляется возможным [13].

Поэтому зачастую, говоря об оценке эффективности деятельности ОВ, фактически производят опять-таки оценку результативности: «наметили сделать то-то, выполнили на столько-то» [9, с. 11].

Однако, кроме представленной выше модели оценки эффективности госуправления, которую иногда называют затратной, существует еще одна модель – результативная [5, с. 34-35]. В соответствии с этой моделью, оценка эффективности деятельности ОВ может производиться на основе:

- сравнения показателей реализации конкретных полномочий ОВ с нормативными параметрами;
- сопоставления достигнутых показателей с показателями, полученными ранее;
- сравнения полученных показателей с лучшими среди таких же показателей, достигнутых в других регионах [9, с. 10].

Как можно видеть, с позиций данной модели, оценка эффективности госуправления, как и оценка его результативности, базируется на сравнении; применение этой модели также предполагает использование нормативных и фактических показателей деятельности ОВ. Однако, как было показано выше, оценка результативности является качественной и может быть достаточно субъективной. Оценка эффективности, поэтому, должна быть выражена количественно (рассчитана по определенной формуле) и в этом смысле являться предельно объективной.

Мы считаем возможным для оценки эффективности (а не результативности или

качества) деятельности органов власти в области управления безопасностью жизнедеятельности использовать «результативную» модель оценки. В этом случае в качестве параметров оценки могут выступать такие показатели, которые позволят сравнить:

- 1) фактическую деятельность ОВ с желаемой или требуемой;
- 2) деятельность одного и того же органа власти в различные временные периоды;
- 3) деятельность различных органов власти между собой [3, с. 40].

Поскольку в рамках оценки эффективности производится сравнение полученных органами власти фактических результатов деятельности с желаемыми или требуемыми, необходимо предварительно выработать представление о некоем идеальном состоянии государственных институтов и их эталонном функционировании. Такое представление можно сформировать в результате анализа нормативной правовой базы, определяющей полномочия ОВ и параметры их исполнения [8, с. 55].

Таким образом, определение параметров для оценки эффективности деятельности ОВ в сфере УБЖД предполагает предварительный анализ соответствующей нормативно-правовой базы.

К примеру, основным документом, регламентирующим в Российской Федерации организацию деятельности по защите населения и территорий от ЧС, является соответствующий Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ⁵. Он, в числе прочего, определяет основные задачи РСЧС в данной сфере и соответствующие функции и полномочия различных органов публичной власти. Положения закона конкретизируются в подзаконных актах; например, в «Методических рекомендациях МЧС России по разработке нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации в области гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 1 сентября 2023 г. Содержание этих и других документов явилось для нас основой, позволившей определить основные показатели оценки эффективности деятельности ОВ в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЗНТЧС), которые представлены в табл. 1.

⁵ Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ.

Таблица 1. Определение возможных показателей оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов РФ в области ЗНТЧС на основе анализа регламентирующих ее нормативных правовых актов

Положения федеральных законов, регламентирующих деятельность ОВ субъектов РФ в области ЗНТЧС	Подзаконные акты, конкретизирующие положения законов	Функции и полномочия ОВ субъектов РФ, определяемые положениями нормативных правовых актов	Показатель, на основании которого можно оценить деятельность ОВ субъектов РФ в области ЗНТЧС
Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», статья 11, пункт 1, подпункт а	«Методические рекомендации МЧС России по разработке нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации в области гражданской обороны и защиты населения и территорий от ситуаций природного и техногенного характера» от 01.09.2023 Актуализированный перечень нормативных правовых актов, рекомендуемых к принятию в субъектах Российской Федерации и муниципальных образованиях от 04.07.2024	принимают в соответствии с федеральными законами законы и иные нормативные правовые акты в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций межмуниципального и регионального характера	1.1 НПА _{ЧС} – степень разработанности нормативно-правовой базы в области ЗНТЧС
Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», статья 11, пункт 1, подпункт т	ГОСТ Р 22.3.21-2023 «План действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории субъекта Российской Федерации» Приказ МЧС России от 25.10.2004 № 484 «Об утверждении Типового паспорта безопасности территории субъекта Российской Федерации и муниципальных образований»	разрабатывают и утверждают планы действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории субъекта Российской Федерации	1.2 ПД _{ЧС} – наличие основных планирующих документов в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера
Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», статья 11, пункт 1, подпункт б	Постановление Правительства РФ от 18.09.2020 № 1485 «Об утверждении Положения о подготовке граждан Российской Федерации, иностранных граждан и лиц без гражданства в области защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»	осуществляют подготовку и содержание в готовности необходимых сил и средств для защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, а также подготовку населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций	1.3 КЧС – степень обученности членов КЧС и ОПБ субъекта РФ в области защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера

Положения федеральных законов, регламентирующих деятельность ОВ субъектов РФ в области ЗНТЧС	Подзаконные акты, конкретизирующие положения законов	Функции и полномочия ОВ субъектов РФ, определяемые положениями нормативных правовых актов	Показатель, на основании которого можно оценить деятельность ОВ субъектов РФ в области ЗНТЧС
Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», статья 11, пункт 1, подпункт в	Методические рекомендации МЧС России по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы пунктов временного размещения пострадавшего населения от 06.06.2022	обеспечивают проведение эвакуационных мероприятий при угрозе возникновения или возникновении чрезвычайных ситуаций регионального и межмуниципального характера	1.4 ПВР – первоочередное жизнеобеспечение населения, пострадавшего в ЧС
Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», статья 11, пункт 1, подпункт ж	Методические рекомендации МЧС России по созданию, хранению, использованию и восполнению резервов материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера от 19.03.2021	создают резервы финансовых и материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций межмуниципального и регионального характера	1.5. РЕЗ _{ЧС} – резерв материальных ресурсов для ликвидации ЧС
Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», статья 11, пункт 1, подпункт х	Методические рекомендации МЧС России по обеспечению защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями гидротехнических сооружений от 14.03.2024	проводят мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций межмуниципального и регионального характера и ликвидации их последствий, реализуют мероприятия, направленные на спасение жизни и сохранения здоровья людей при чрезвычайных ситуациях	1.6. ГТС – результативность работы по ликвидации хозяйственных гидротехнических сооружений

Положения федеральных законов, регламентирующих деятельность ОВ субъектов РФ в области ЗНТЧС	Подзаконные акты, конкретизирующие положения законов	Функции и полномочия ОВ субъектов РФ, определяемые положениями нормативных правовых актов	Показатель, на основании которого можно оценить деятельность ОВ субъектов РФ в области ЗНТЧС
Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О безопасности гидротехнических сооружений», статья 5		обеспечивают безопасность гидротехнических сооружений, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации, а также капитальный ремонт, консервацию и ликвидацию гидротехнических сооружений, которые не имеют собственника или собственник которых неизвестен, либо от права собственности, на которые собственник отказался и которые находятся на территориях субъектов Российской Федерации	

Углубленный анализ содержания представленных в табл. 1 нормативных правовых актов (НПА) позволил определить индикаторы, на основе которых должен рассчитываться каждый из предлагаемых показателей оценки.

Аналогичная работа была проведена и в отношении основных НПА, регламентирующих деятельность органов государственной власти субъектов РФ в сфере гражданской обороны, обеспечения пожарной безопасности и

безопасности людей на водных объектах. Ввиду большого количества показателей, предлагаемых нами для оценки эффективности деятельности ОВ в сфере УБЖД, в рамках данной статьи не представляется возможным и уместным продемонстрировать промежуточные этапы этой работы. Окончательный перечень разработанных нами параметров и показателей оценки представлен в табл. 2.

Таблица 2. Предлагаемый перечень параметров и показателей оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов РФ в области УБЖД

Оцениваемый аспект деятельности ОВ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
1. Защита населения и территорий от ЧС	1.1. НПА _{ЧС} – Степень разработанности нормативно-правовой базы в области ЗНТЧС	1.1.1. Н _{ЧС} – доля принятых в субъекте РФ НПА в области ЗНТЧС относительно общего количества соответствующих НПА, рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ	Н _Р – количество НПА, принятых в субъекте РФ в области ЗНТЧС
			Н _Р – количество рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ НПА в области ЗНТЧС

Оцениваемый аспект деятельности ОВ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
		1.1.2. N _{ЧСА} – доля принятых и фактически действующих в субъекте РФ НПА в области ЗНТЧС, не требующих в соответствии с положениями федерального законодательства актуализации, относительно общего количества НПА в области ЗНТЧС, рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ	N _s – количество принятых в субъекте РФ и фактически действующих НПА в области ЗНТЧС, не требующих в соответствии с положениями федерального законодательства актуализации
			N _d – количество рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ НПА в области ЗНТЧС
	1.2. ПД _{ЧС} – Наличие основных планирующих документов в области ЗНТЧС	1.2.1. Р _{ЧС} – наличие плана предупреждения и ликвидации ЧС, разработанного и утвержденного в соответствии с Методическими рекомендациями МЧС России и учетом рисков природных и техногенных ЧС, характерных для данного субъекта РФ	Р _{ЧСР} – соответствие разработанного плана предупреждения и ликвидации ЧС установленным требованиям
			Р _{ЧСУ} – наличие необходимых согласований и утверждение плана предупреждения и ликвидации ЧС установленным порядком
			Р _{ЧСК} – корректировка плана предупреждения и ликвидации ЧС в установленном порядке
		1.2.2. П _{ЧС} – наличие паспорта безопасности территории, разработанного и утвержденного в соответствии с приказом МЧС России и с учетом рисков природных и техногенных ЧС, присущих данному субъекту РФ	П _{ЧСР} – соответствие разработанного паспорта требованиям
			П _{ЧСК} – корректировка показателей паспорта в установленные сроки
	1.3. КЧС – Степень обученности членов КЧС и ОПБ субъекта РФ в области ЗНТЧС	КЧС _о – количество обученных членов КЧС и ОПБ субъекта РФ с учетом повышения квалификации не реже 1 раза в 5 лет	
		КЧС _к – количество членов КЧС и ОПБ субъекта РФ, утвержденное НПА	
	1.4. ПВР – Первоочередное жизнеобеспечение населения, пострадавшего в ЧС	ПВР _о – общая вместимость пунктов временного размещения	
		ПВР _н – численность населения, условия жизнедеятельности которого, в соответствии с паспортом безопасности субъекта РФ, нарушены в результате ЧС	
	1.5. РЕЗ _{ЧС} – Резерв материальных ресурсов для ликвидации ЧС	РЕЗ _ф – фактически (в натуральном виде) созданные для ликвидации ЧС резервы, в рублях	
		РЕЗ _п – спланированные к созданию резервы для ликвидации ЧС, номенклатура и объемы которых утверждены	

Оцениваемый аспект деятельности ОБ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
		НПА субъекта РФ с учетом рисков природных и техногенных ЧС, характерных для территории субъекта РФ, в рублях	
	1.6. ГТС – Результативность работы по ликвидации бесхозяйных гидротехнических сооружений	1.6.1. ГТС _с – доля ГТС, у которых определен собственник, относительно общего количества ГТС, расположенных на территории субъекта РФ	ГТС _{со} – количество ГТС, у которых определен собственник
			ГТС _о – общее количество ГТС
		1.6.2. ГТС _{поп} – доля разработанных планов обеспечения безопасности бесхозяйных ГТС относительно общего количества бесхозяйных ГТС, расположенных на территории субъекта РФ	ГТС _п – количество разработанных планов обеспечения безопасности бесхозяйных ГТС
			ГТС _б – количество бесхозяйных ГТС
2. Гражданская оборона	2.1 НПА _{го} – Степень разработанности нормативно-правовой базы в области ГО	2.1.1. N _{го} – доля принятых в субъекте РФ НПА в области ГО относительно общего количества соответствующих НПА, рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ	N _р – количество НПА в области ГО, принятых в субъекте РФ
			N _р – количество рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ НПА в области ГО
		2.1.2. N _{гоа} – доля фактически действующих в субъекте РФ НПА в области ГО, не требующих в соответствии с положениями федерального законодательства актуализации, относительно общего количества НПА в области ГО, рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ	N _с – количество фактически принятых и действующих в субъекте РФ НПА в области ГО, не требующих в соответствии с положениями федерального законодательства актуализации
			N _д – количество рекомендованных МЧС России для принятия в субъекте РФ НПА в области ГО
	2.2. ПД _{го} – Наличие основных планирующих документов в области ГО	2.2.1. П _{гго} – наличие разработанного и утвержденного в соответствии с приказом МЧС России плана приведения в готовность ГО	П _{ггор} – соответствие разработанного плана приведения в готовность ГО установленным требованиям
			П _{ггоу} – наличие необходимых согласований и утверждение плана приведения в готовность ГО установленным порядком
			П _{ггок} – корректировка плана приведения в

Оцениваемый аспект деятельности ОВ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
			готовность ГО в установленном порядке
		2.2.2. П _{ГОЗН} – наличие разработанного и утвержденного в соответствии с приказом МЧС России плана ГО и защиты населения	П _{ГОР} – соответствие разработанного плана ГО и защиты населения установленным требованиям П _{ГОУ} – наличие необходимых согласований и утверждение плана ГО и защиты населения установленным порядком П _{ГОК} – корректировка плана ГО и защиты населения в установленном порядке
	2.3. К _{Эп} – Обучение членов эвакуационной комиссии, комиссии по вопросам повышения устойчивости функционирования объектов экономики субъекта РФ	К _{Оэ} – количество обученных членов эвакуационной комиссии субъекта РФ с учетом повышения квалификации не реже 1 раза в 5 лет К _{Оп} – количество обученных членов комиссии по вопросам повышения устойчивости функционирования объектов экономики субъекта РФ с учетом повышения квалификации не реже 1 раза в 5 лет К _{Кэ} – количество членов эвакуационной комиссии субъекта РФ, утвержденное НПА К _{Кп} – количество членов комиссии по вопросам повышения устойчивости функционирования объектов экономики субъекта РФ, утвержденное НПА	
	2.4. S _{Ок} – Готовность систем оповещения населения	S _О – численность населения субъекта РФ, проживающего (осуществляющего хозяйственную деятельность) в границах зоны действия технических средств оповещения, запускаемых централизованно в автоматизированном или автоматическом режиме Н _к – общая численность населения субъекта РФ	
	2.5. Э _{Ок} – Готовность к эвакуационным мероприятиям	Э _О – численность населения, подлежащего эвакуации, обеспеченного жилыми и нежилыми помещениями (получены (выданы) ордера на занятие эвакуируемым населением жилых и нежилых помещений) Э _к – общая численность населения, подлежащего эвакуации	
	2.6. СИЗ – Предоставление населению средств индивидуальной защиты	СИЗ _О – численность населения, обеспеченного средствами индивидуальной защиты органов дыхания СИЗ _к – численность населения, подлежащего обеспечению средствами индивидуальной защиты органов дыхания	
	2.7. УКР – Предоставление населению средств коллективной защиты	2.7.1. УКР _{Ок} – доля населения, обеспеченного защитными сооружениями ГО, заглубленными помещениями и другими сооружениями подземного пространства, включая метрополитены, приспособляемыми в период мобили-	УКР _О – численность населения, обеспеченного защитными сооружениями ГО, заглубленными помещениями и другими сооружениями подземного пространства, включая метрополитены, приспособляемыми в период

Оцениваемый аспект деятельности ОВ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
		зации и в военное время под защитные сооружения ГО, относительно общей численности населения, подлежащего обеспечению средствами коллективной защиты	мобилизации и в военное время под защитные сооружения ГО
		2.7.2. ЗСГО _{ГК} – доля защитных сооружений ГО, готовых к приему укрываемых, относительно общего количества защитных сооружений ГО, расположенных на территории субъекта РФ	УКР _К – численность населения, подлежащего обеспечению средствами коллективной защиты ЗСГО _Г – количество защитных сооружений ГО, готовых к приему укрываемых ЗСГО _К – общее количество защитных сооружений ГО
3. Обеспечение пожарной безопасности	3.1. НП _{пк} – прикрытие территории подразделениями пожарной охраны	НП _п – количество населенных пунктов, которые прикрыты подразделениями пожарной охраны в соответствии с Техническим регламентом о требованиях ПБ НП _к – общее количество населенных пунктов	
	3.2. СЗО _{ок} – обеспечение ПБ социально-значимых объектов	СЗО _о – количество социально-значимых объектов, оборудованных системами противопожарной защиты СЗО _к – общее количество социально-значимых объектов, расположенных на территории субъекта РФ	
	3.3. ТКР _{Кок} – обеспечение ПБ торговых и культурно-развлекательных комплексов	ТКР _{Ко} – количество торговых и культурно-развлекательных комплексов, оборудованных системами противопожарной защиты ТКР _{Кк} – общее количество торговых и культурно-развлекательных комплексов, расположенных на территории субъекта РФ	
	3.4. НАС _{ок} – обеспечение ПБ мест размещения многодетных семей, семей, находящихся в трудной жизненной ситуации, в социально опасном положении	МС _о – количество мест проживания многодетных семей, семей, находящихся в трудной жизненной ситуации, в социально опасном положении, в которых установлены и находятся в исправном состоянии автономные дымовые пожарные извещатели МС _к – общее количество многодетных семей, семей, находящихся в трудной жизненной ситуации, в социально опасном положении	
	3.5. ПС _{гк} – защита населенных пунктов от лесных пожаров	ПС _г – количество населенных пунктов, готовых к пожароопасному сезону ПС _к – общее количество населенных пунктов, подверженных угрозе лесных пожаров и других ландшафтных (природных) пожаров	
	3.6. ПП – пожарная профилактика	3.6.1. ПП _{сзо} – доля социально-значимых объектов, торговых, культурно-развлекательных комплексов, мест размещения много-	СЗО _п – количество социально-значимых объектов, в которых были проведены профилактические мероприятия

Оцениваемый аспект деятельности ОВ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
		детных семей, семей, находящихся в трудной жизненной ситуации и в социально опасном положении, детских оздоровительных лагерей, в которых были проведены профилактические мероприятия, относительно общего количества соответствующих объектов	ТКРК _п – количество торговых, культурно-развлекательных комплексов, в которых были проведены профилактические мероприятия
			МС _п – количество мест размещения многодетных семей, семей, находящихся в трудной жизненной ситуации, в социально опасном положении, в которых были проведены профилактические мероприятия
			ДОЛ _{пп} – количество детских оздоровительных лагерей, в которых были проведены мероприятия по пожарной профилактике
			СЗО _к – общее количество социально-значимых объектов, расположенных на территории субъекта РФ
			ТКРК _к – общее количество торговых, культурно-развлекательных комплексов
			МС _к – общее количество мест размещения многодетных семей, семей, находящихся в трудной жизненной ситуации, в социально опасном положении
			ДОЛ _о – общее количество детских оздоровительных лагерей
		3.6.2. ИПП – доля инструкторов по ПБ относительно общего количества населенных пунктов субъекта РФ	ИПП _м – количество инструкторов по ПБ
		3.6.3. ЖД – доля личных жилых домов, многоквартирных домов, охваченных профилактическими группами, относительно общего количества личных	НП _к – общее количество населенных пунктов
			ЖД _м – количество личных жилых домов, многоквартирных домов, охваченных профилактическими группами

Оцениваемый аспект деятельности ОБ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
4. Обеспечение безопасности на водных объектах	4.1. БВО – обеспечение безопасности традиционных мест купания населения	жилых домов, многоквартирных домов субъекта РФ	ЖД _к – общее количество личных жилых домов, многоквартирных домов субъекта РФ
		3.6.4. Н – доля лиц, проинструктированных о мерах ПБ, относительно общей численности населения субъекта РФ	Н _м – количество лиц, проинструктированных о мерах ПБ
			Н _к – общая численность населения субъекта РФ
		4.1.1. СП – доля пляжей, традиционных мест массового отдыха населения вблизи водных объектов, детских оздоровительных лагерей, расположенных вблизи водных объектов, на которых обеспечено дежурство спасательных постов, относительно общего количества пляжей, традиционных мест массового отдыха населения вблизи водных объектов, детских оздоровительных лагерей, расположенных вблизи водных объектов	П _д – количество пляжей, на которых обеспечено дежурство спасательных постов
			ММО _д – количество традиционных мест массового отдыха населения вблизи водных объектов, на которых обеспечено дежурство спасательных постов
			ДОЛ _д – количество детских оздоровительных лагерей, на которых обеспечено дежурство спасательных постов
			П _о – общее количество пляжей
			ММО _о – общее количество традиционных мест массового отдыха населения вблизи водных объектов
			ДОЛ _о – общее количество детских оздоровительных лагерей
		4.1.2. ДЛ – доля должностных лиц, уполномоченных составлять административные протоколы о нарушении правил пользования водными объектами для плавания на маломерных судах и правил охраны жизни людей на водных объектах, или за нарушение установленных требований по безопасности на водных объектах субъекта РФ, относительно общего количества традиционных мест массового отдыха населения вблизи водных объектов	ДЛ _п – количество должностных лиц, уполномоченных составлять административные протоколы о нарушении правил пользования водными объектами для плавания на маломерных судах и правил охраны жизни людей на водных объектах, или за нарушение установленных требований по безопасности на водных объектах субъекта РФ
			ММО _о – общее количество традиционных мест массового отдыха населения вблизи водных объектов
	4.2. БВО _{пм} – реализация	4.2.1. ДОЛ – доля детских оздоровительных лагерей,	ДОЛ _{пбво} – количество детских оздоровительных

Оцениваемый аспект деятельности ОВ субъекта РФ в сфере УБЖД	Параметр оценки	Показатели оценки	Индикаторы для расчета показателей оценки
	профилактических мероприятий в области обеспечения безопасности на водных объектах	расположенных вблизи водных объектов, в которых проведены профилактические мероприятия, относительно общего количества детских оздоровительных лагерей, расположенных вблизи водных объектов	лагерей, расположенных вблизи водных объектов, в которых проведены соответствующие профилактические мероприятия
		4.2.2. НАС _{БВО} – доля населения, проинструктированного о мерах безопасности при нахождении на водных объектах и вблизи водных объектов, относительно общей численности населения субъекта РФ	ДОЛ _о – общее количество детских оздоровительных лагерей, расположенных вблизи водных объектов
		4.2.3. Д _{БВО} – доля детей, обученных плаванию, относительно общей численности детей в субъекте РФ	НАСП – численность населения, проинструктированного о мерах безопасности при нахождении на водных объектах и вблизи водных объектов
			Н _к – общая численность населения субъекта Российской Федерации
5. Снижение показателей гибели людей в ЧС, на пожарах и на водных объектах	К _г – количество погибших в субъекте РФ в результате ЧС, пожаров и происшествий на водных объектах	К _п – количество погибших в ЧС, на пожарах и на водных объектах (на 100 тыс. населения субъекта) Н _к – общая численность населения субъекта Российской Федерации	Д _п – количество детей, обученных плаванию Д _о – общая численность детей в субъекте РФ

Выше мы отмечали, что оценка эффективности деятельности ОВ должна иметь количественное выражение.

В рамках разрабатываемой нами методики расчет практически всех параметров и показателей оценки предлагается производить путем определения среднего арифметического от числовых значений составляющих их компонентов (показателей и индикаторов соответственно). Например, показатель «Наличие основных планирующих документов в области ГО» будет рассчитываться по формуле:

$$ПД_{ГО} = \frac{Р_{ПГО} + Р_{ГОЗН}}{2}, \quad (1)$$

где $Р_{ПГО}$ – наличие разработанного и утвержденного в соответствии с требованиями плана приведения в готовность ГО;

$Р_{ГОЗН}$ – наличие разработанного и утвержденного в соответствии с требованиями плана ГО и защиты населения.

Однако, индикаторы, предназначенные для расчета параметров $Р_{ПГО}$ и $Р_{ГОЗН}$ (например, $ПГГОР$ – соответствие плана приведения в готовность ГО установленным требованиям), не предполагают количественного выражения. В этом и подобных случаях, если фактически имеет место соответствие оцениваемого индикатора нормативно установленным требованиям (порядку, срокам и пр.), его значение принимается за 1; если такого соответствия нет, значение индикатора приравнивается к 0.

В случаях, если рассчитанное значение любого показателя превышает 1, в дальнейших расчетах оно принимается равным 1.

При оценке эффективности деятельности органов власти в области УБЖД следует иметь в виду, что реализуемые ОВ в этой сфере функции и полномочия требуют различных организационных, финансовых и материальных затрат. Поэтому мы разделили их на две группы с условными названиями «полномочия организационно-правового» и «полномочия организационно-экономического» характеров [14]. Поскольку реализация полномочий первой группы

не требует привлечения большого объема ресурсов, полученное в результате расчетов значение соответствующих параметров предлагается умножать на понижающий коэффициент 0,75. К числу таких параметров относятся:

НПА_{ЧС} – Степень разработанности нормативно-правовой базы в области ЗНТЧС;

ПД_{ЧС} – Наличие основных планирующих документов в области ЗНТЧС;

КЧС – Степень обученности членов КЧС и ОПБ субъекта РФ в области ЗНТЧС;

НПА_{ГО} – Степень разработанности нормативно-правовой базы в области ГО;

ПД_{ГО} – Наличие основных планирующих документов в области ГО;

Кэп – Обучение членов эвакуационной комиссии, комиссии по вопросам повышения

устойчивости функционирования объектов экономики субъекта РФ;

ПП – Пожарная профилактика;

БВО_{пм} – Реализация профилактических мероприятий в области обеспечения безопасности на водных объектах.

Снижение показателей гибели людей в ЧС, на пожарах и на водных объектах, которое служит основной целью деятельности органов власти в сфере УБЖД, мы считаемым и важнейшим показателем успешности этой деятельности. Поэтому предлагаем внести этот фактор в систему оценки работы ОБ по УБЖД (табл. 2).

Расчет итоговой оценки деятельности органов государственной власти субъектов РФ в области УБЖД предлагается производить по формуле (2):

$$\text{ОБЖД} = \frac{\text{ЗНТЧС} + \text{ГО} + \text{ПБ} + \text{ОБВО} + \text{Кг}}{5} \quad (2)$$

где ЗНТЧС – параметр эффективности «Защита населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»;

ГО – параметр эффективности «Гражданская оборона»;

ПБ – параметр эффективности «Обеспечение пожарной безопасности»;

ОБВО – параметр эффективности «Обеспечение безопасности на водных объектах»;

Кг – параметр эффективности «Снижение показателей гибели людей в ЧС, на пожарах и на водных объектах».

Подчеркнем еще раз: итоговая оценка деятельности органов власти в сфере УБЖД, рассчитанная на основе предлагаемой нами методики, будет иметь четкое количественное выражение и в этом смысле будет лишена субъективизма.

Итак, показатели, разработанные нами для оценки эффективности деятельности ОБ в сфере УБЖД, отражают соотношение между нормативными и фактически достигнутыми органами власти в процессе реализации ими соответствующих полномочий результатами.

Ежегодный мониторинг представленных выше показателей позволит оценить эффективность деятельности ОБ как бы с другого ракурса – на основе сравнения полученных результатов с достигнутыми ранее. Например, сравнение показателей готовности систем оповещения населения, рассчитанных на базе нашей методики в ряде регионов Приволжского федерального округа (ПФО) по данным за 2023 и 2024 гг., позволило сделать вывод о положительной динамике в этом аспекте деятельности ОБ. Значение этого показателя за год выросло:

– в Республике Башкортостан с 0,945 до 0,986;

– в Марий-Эл – с 0,665 до 0,668;

– Мордовии – с 0,59 до 0,607;

– в Чувашии – с 0,249 до 0,25.

Представленный выше пример наглядно демонстрирует, что предлагаемая методика позволит реализовать оценку эффективности деятельности ОБ еще и с третьего ракурса – с позиций межрегионального сравнения.

Сопоставление результатов работы, функционирующих в различных субъектах Российской Федерации государственных органов со сходной компетенцией, может быть осуществлено в форме рейтинга. Рейтинг регионов, по мнению исследователей, представляет собой важный практико-ориентированный инструмент анализа их развития; изучение различных параметров развития отдельно взятых регионов имеет меньшее научное и практическое значение, нежели их межрегиональное сравнение: именно сравнение позволяет четче увидеть достижения и проблемы, имеющиеся в каждом конкретном субъекте, дает возможность определить лидеров и аутсайдеров, демонстрирует необходимость сглаживания межрегиональных диспропорций, мотивирует отстающих «подтягиваться» [15, с. 132].

Причем, рейтинг необходимо формировать не только на основе итоговых оценок регионов в сфере УБЖД, но и на основе всех предлагаемых нами для проведения такой оценки параметров. Разработанная нами система показателей позволяет детально сравнить различные аспекты деятельности органов власти субъектов РФ в области УБЖД, определив успехи и проблемы, имеющиеся в каждом из них.

Сравнение регионов позволит выявить и общие, присущие всем им трудности. Так,

проведенное нами ранее с использованием предлагаемой методики исследование показало, что в регионах ПФО самым проблемным аспектом работы по УБЖД является обеспечение безопасности людей на водных объектах [10]. А это означает, что в организации именно этого аспекта деятельности ОБ может иметь место «системный сбой», причину которого надо выяснять и устранять.

Итак, государственное управление, под которым (в узком смысле) понимают деятельность органов исполнительной власти, можно оценивать по-разному.

Оценка качества госуправления, по сути, представляет собой оценку соответствия его целей интересам и потребностям граждан; фактически в данном случае оценивается удовлетворенность граждан (которые выступают субъектами оценки) конечными результатами деятельности ОБ.

Оценка результативности госуправления состоит в определении степени достижения поставленных ОБ целей (ожидаемых результатов); осуществляется на основе сравнения плановых показателей деятельности с достигнутыми. Хотя она основывается на количественных параметрах, по сути является качественной, может быть достаточно субъективной и некорректной.

Оценка эффективности госуправления с позиций «затратной» модели предполагает установление количественного соотношения между целевым образом израсходованными ресурсами и результатами управления. Такая оценка вряд ли может быть реализована. Потому что, прежде всего, трудно определить параметры для нее: с одной стороны, это должны быть показатели деятельности, на достижение которых в силу своих полномочий и имеющихся ресурсов ОБ в состоянии реально повлиять, с другой, – они должны отражать вклад именно ОБ в достижение результата; между тем, вычленив роль управленческой работы из множества факторов, оказывающих воздействие на показатели деятельности органов власти, практически невозможно.

Список литературы

1. Низов Р. В., Пушина Л. Ю. Управление безопасностью жизнедеятельности: содержание понятия и смысл соответствующей деятельности региональных органов власти // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 1076-1085.

Оценка эффективности госуправления в рамках «результативной» модели может быть проведена на основе сравнения фактических показателей реализации конкретных полномочий ОБ: а) с нормативными параметрами; б) с показателями, полученными ранее; в) с показателями, достигнутыми органами власти с аналогичными функциями в других регионах. В отличие от оценки результативности, оценка эффективности должна быть количественной, т. е. она должна быть определена не с помощью шкалы («больше – меньше», «от – до»), а выражена конкретным числом.

Управление безопасностью жизнедеятельности представляет собой выработку и реализацию государством, гражданами и организациями комплекса мер, нацеленных на предотвращение или снижение вероятности возникновения природных и техногенных опасностей и угроз жизни и здоровью людей, обществу, государству и на минимизацию их последствий. Эффективность деятельности органов государственной власти в области УБЖД, аспектами которой являются защита населения и территорий от ЧС, ГО, обеспечение ПБ и обеспечение безопасности на водных объектах, можно оценить с использованием «результативной» модели оценки.

Анализ нормативных правовых актов, регламентирующих соответствующую работу ОБ, позволил определить перечень показателей для такой оценки. Нами разрабатывается методика, на базе которой каждый из показателей и параметров оценки может быть рассчитан с помощью простой формулы и выражен количественно. Следовательно, методика даст возможность сопоставить определенные показатели работы ОБ в динамике (в рамках ежегодного мониторинга), а также в формате межрегионального сравнения. Это позволит видеть достижения, проблемы и «узкие места» в организации работы ОБ по управлению безопасностью жизнедеятельности населения, а значит, даст возможность ее корректировать и делать более эффективной.

2. Малышева М. А. Теория и методы современного государственного управления. СПб.: Отдел оперативной полиграфии НИУ ВШЭ. Санкт-Петербург, 2011. 280 с.

3. Кожевников С. А., Ворошилов Н. В. Актуальные вопросы оценки эффективности государственного управления в современной России // Проблемы развития территории. 2017. № 6 (92). С. 35-51.

4. Зуев М. Б., Зуев Б. П., Булгакова И. Н. Формирование и развитие метода оценки практической эффективности менеджмента в

концепции оперативного управления // Бизнес-информатика. 2020. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-i-razvitie-metoda-otsenki-prakticheskoy-effektivnosti-menedzhmenta-v-kontseptsii-operativnogo-upravleniya> (дата обращения: 02.10.2025).

5. Нагимова А. М. Эффективность деятельности государственных органов управления как фактор повышения качества жизни в регионе: проблемы оценки и измерения. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 188 с.

6. Полиенко М. А. Институциональные аспекты повышения эффективности государственного управления [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2005. 23 с.

7. Родачин В. М. Феномен государственной политики: сущность и виды // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2021. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-gosudarstvennoy-politiki-suschnost-i-vidy> (дата обращения: 20.09.2025).

8. Клименко А. В. Исполнительная власть как объект мониторинга и оценки // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2008. Том 1. Вып. № 6. С. 55-69.

9. Лексин В. Н. Результативность и эффективность действий региональной и муниципальной власти: назначение и возможности корректной оценки // Регион: экономика и социология. 2012. № 1 (73). С. 3-39.

10. Низов Р. В., Пушина Л. Ю. Обеспечение безопасности жизнедеятельности как показатель социальной эффективности деятельности органов государственной власти // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2024, № 4 (76). С. 175-190.

11. Галиуллина И. Г. Теоретическое обоснование категории «эффективность»: понятие, сущность, виды // Форум молодых ученых. 2017. № 4 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskoe-obosnovanie-kategorii-effektivnost-ponyatie-suschnost-i-vidy> (дата обращения: 19.10.2025).

12. Эффективность государственного и муниципального управления / Под ред. И. Ю. Чазова, В. Ю. Войтович. Ижевск: изд-во ИЭиУ ФГБОУ ВО «УдГУ», 2019. 115 с.

13. О возможном подходе к оценке эффективности и востребованности профилактических мероприятий в области пожарной безопасности / Ю. А. Андреев, М. В. Елфимова, А. А. Мельник [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 2 (27). С. 56-61.

14. Низов Р. В., Пушина Л. Ю. О специфике реализации органами власти различных видов полномочий в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций // Актуальные вопросы организации управления в

РСЧС: сборник научных трудов. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 85-89.

15. Фофанова К. В. Методологические вопросы измерения качества жизни региона // Регионология. 2016. № 4 (97). С. 127-139.

References

1. Nizov R. V., Pushina L. YU. Upravleniye bezopasnost'yu zhiznedeyatel'nosti: sodержaniye ponyatiya i smysl sootvetstvuyushchey deyatel'nosti regional'nykh organov vlasti [Life Safety Management: The Content of the Concept and the Meaning of the Corresponding Activities of Regional Authorities]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. Pp. 1076-1085.

2. Malysheva M. A. *Teoriya i metody sovremennoy gosudarstvennoy upravleniya* [Theory and Methods of Modern Public Administration]. SPb.: Otdel operativnoy poligrafii NIU VSHE. Sankt-Peterburg, 2011. 280 p.

3. Kozhevnikov S. A., Voroshilov N. V. Aktual'nyye voprosy otsenki effektivnosti gosudarstvennoy upravleniya v sovremennoy Rossii [Current issues of assessing the effectiveness of public administration in modern Russia]. *Problemy razvitiya territorii*, 2017, vol. 6 (92), pp. 35-51.

4. Zuyev M. B., Zuyev B. P., Bulgakova I. N. Formirovaniye i razvitiye metoda otsenki prakticheskoy effektivnosti menedzhmenta v kontseptsii operativnogo upravleniya [Formation and Development of the Method for Assessing the Practical Effectiveness of Management in the Concept of Operational Management]. *Biznes-informatika*, 2020, issue 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-i-razvitie-metoda-otsenki-prakticheskoy-effektivnosti-menedzhmenta-v-kontseptsii-operativnogo-upravleniya> (data obrashcheniya: 02.10.2025).

5. Nagimova A. M. *Effektivnost' deyatel'nosti gosudarstvennykh organov upravleniya kak faktor povysheniya kachestva zhizni v regione: problemy otsenki i izmereniya* [Efficiency of Public Administration Bodies as a Factor in Improving the Quality of Life in the Region: Problems of Assessment and Measurement]. Kazan': Kazan. gos. un-t, 2009. 188 p.

6. Poliyenko M. A. *Institutsional'nyye aspekty povysheniya effektivnosti gosudarstvennoy upravleniya*. Avtoref. diss. kand. ekon. nauk [Institutional Aspects of Improving the Efficiency of Public Administration. Abstract cand. econ. sci. diss.]. Moscow, 2005. 23 p.

7. Rodachin V. M. Fenomen gosudarstvennoy politiki: sushchnost' i vidy [The Phenomenon of

Public Policy: Essence and Types]. *Gumanitarnyye nauki. Vestnik Finansovogo universiteta*, 2021, issue 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-gosudarstvennoy-politiki-suschnost-i-vidy> (data obrashcheniya: 20.09.2025).

8. Klimenko A. V. Ispolnitel'naya vlast' kak ob'yekt monitoringa i otsenki [Executive power as an object of monitoring and evaluation]. *Kontury global'nykh transformatsiy: politika, ekonomika, parvo*, 2008, vol. 1, issue 6, pp. 55–69.

9. Leksin V. N. Rezul'tativnost' i effektivnost' deystviy regional'noy i munitsipal'noy vlasti: naznachenie i vozmozhnosti korrektnoy otsenki [The effectiveness and efficiency of regional and municipal authorities: purpose and possibilities of correct assessment]. *Region: ekonomika i sotsiologiya*, 2012, vol. 1 (73), pp. 3–39.

10. Nizov R. V., Pushina L. Yu. Obespecheniye bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti kak pokazatel' sotsial'noy effektivnosti deyatel'nosti organov gosudarstvennoy vlasti [Ensuring Life Safety as an Indicator of Social Efficiency of Public Authorities]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Seriya: Sotsial'nyye nauki*, 2024, vol. 4 (76), pp. 175–190.

11. Galiullina I. G. Teoreticheskoye obosnovaniye kategorii «effektivnost'»: ponyatiye, sushchnost', vidy [Theoretical Justification of the Category of 'Efficiency': Concept, Essence, and Types]. *Forum molodykh uchenykh*, 2017, vol. 4 (8). URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskoe-obosnovanie-kategorii-effektivnost-](https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskoe-obosnovanie-kategorii-effektivnost-ponyatie-suschnost-i-vidy)

[ponyatie-suschnost-i-vidy](https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-suschnost-i-vidy) (data obrashcheniya: 19.10.2025).

12. *Effektivnost' gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya* [Efficiency of State and Municipal Administration] / Pod red. I. Yu. Chazova, V. Yu. Voytovich. Izhevsk: izd-vo IEiU FGBOU VO «UdGU», 2019. 115 p.

13. O vozmozhnom podkhode k otsenke effektivnosti i vostrebovannosti profilakticheskikh meropriyatiy v oblasti pozharnoy bezopasnosti [On a possible approach to assessing the effectiveness and demand for preventive measures in the field of fire safety] / Yu. A. Andreyev, M. V. Yelfimova, A. A. Mel'nik [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2018, vol. 2 (27), pp. 56–61.

14. Nizov R. V., Pushina L. Yu. O spetsifike realizatsii organami vlasti razlichnykh vidov polnomochiy v sfere zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy [On the specifics of the implementation of various types of powers by government bodies in the sphere of protecting the population and territories from emergency situations]. *Aktual'nyye voprosy organizatsii upravleniya v RSCHS: sbornik nauchnykh trudov*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. Pp. 85–89.

15. Fofanova K. V. Metodologicheskiye voprosy izmereniya kachestva zhizni regiona [Methodological issues of measuring the quality of life in the region]. *Regionologiya*, 2016, vol. 4 (97), pp. 127–139.

Пушина Лада Юрьевна

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

Кандидат социологических наук, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС
E-mail: Bas2808@yandex.ru

Pushina Lada Yur'yevna

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 social sciences, associate professor at the department of fundamentals of economics of functioning prevention and response system
E-mail: Bas2808@yandex.ru

Низов Роман Викторович

Главное управление МЧС России по Нижегородской области
Российская Федерация, г. Нижний Новгород

Заместитель начальника Главного управления (по гражданской обороне и защите населения)
E-mail: nizoff2705@mail.ru

Nizov Roman Viktorovich

The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Nizhny Novgorod region
Russian Federation, Nizhny Novgorod

Deputy Head of the Main Directorate (for Civil Defense and Protection of the Population)
E-mail: nizoff2705@mail.ru

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

УДК 66.074.5
DOI 10.48612/ntp/8x15-3un5-mza6

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ
ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ
И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Р. Я. ИСХАКОВА, А. Г. ЛАПТЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»,
Российская Федерация, Казань
ORCID: 0000-0003-0339-9849, 0000-0002-1626-6458.
Email: imreginaiskh@gmail.com; tv_t_kgeu@mail.ru

В статье рассмотрен процесс термической утилизации избыточного активного ила, образующегося в результате биологической очистки сточных вод промышленных предприятий в топочном устройстве в псевдоожиженном слое. При сжигании избыточного активного ила образуются газообразные продукты сгорания, содержащие токсичные компоненты, такие как диоксид серы, оксиды азота, твердые компоненты. Предложен подход, включающий в себя переработку и вторичное использование отходов, образующихся на предприятиях, при условии очистки газовых выбросов, который позволяет реализовать энергоресурсосбережение, внедрить экозащитные технологии, направленные на сохранение окружающей природной среды и обеспечить экологическую безопасность населения.

Особое внимание уделено процессу очистки газовых выбросов, образующихся при термической утилизации отходов, от дисперсных частиц. Для этого предлагается использовать прямоточный пленочный трубчатый аппарат мокрой очистки газов. Приведено математическое описание модели турбулентно-инерционного переноса и осаждения аэрозольных частиц из газов на межфазную поверхность пленки воды. При использовании данного подхода эффективность сепарации для частиц диаметром более 6 мкм составит 99,9 %.

Ключевые слова: отходы производства, термическая утилизация, избыточный активный ил, газовые выбросы, энергоресурсосбережение, мокрая очистка газов, модель турбулентно-инерционного переноса, эффективность очистки, экологически безопасная технология

**IMPROVEMENT OF THE GASES EMISSIONS PURIFICATION METHODS IN THERMAL
DISPOSAL OF SLUDGE AND WASTE FROM INDUSTRIAL ENTERPRISES**

R. Ya. ISKHAKOVA, A. G. LAPTEV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kazan State Power Engineering University»,
Russian Federation, Republic of Tatarstan, Kazan
Email: imreginaiskh@gmail.com, tv_t_kgeu@mail.ru

The article considers the process of thermal disposal of excess activated sludge formed as a result of biological treatment of wastewater from industrial enterprises. The approach, which includes recycling and secondary use of waste generated at enterprises, allows to implement energy conservation, introduce eco-protective technologies aimed at preserving the natural environment and ensuring environmental safety of the population. Particular attention is paid to the process of cleaning gas emissions generated during thermal utilization of waste from dispersed particles. The using of a straight-through tubular wet gas cleaning device is proposed. A mathematical description of the model of turbulent-inertial transfer and deposition of aerosol particles from gases onto the interphase surface of a water film is given. The separation efficiency for particles with a diameter of 6 μm will be 99.9 %.

Key words: industrial waste, thermal utilization, excess activated sludge, gas emissions, energy and resource conservation, wet gas cleaning, turbulent-inertial transfer model, cleaning efficiency, environmentally friendly technology

Введение

В настоящее время особую актуальность приобретают проблемы экологической безопасности и сохранения окружающей природной среды. Одной из ключевых задач в данном направлении является утилизация отходов [1]. Многоотоннажные отходы представляют собой отходы промышленного производства или потребления. Их хранение, складирование и переработка связаны с различными проблемами, такими как: загрязнение окружающей природной среды; угроза здоровью населения; нарушение естественных ландшафтов и уничтожение мест обитания животных и растений; утрата ценных ресурсов и прочие [2].

Одним из примеров подобных отходов является осадок систем канализования и водоотведения – избыточный активный ил, представляющий сообщество микроорганизмов, участвующих в процессе окисления растворенных примесей сточных вод [3]. Традиционным подходом к его обработке является размещение обводненного осадка на иловых полях для дальнейшей сушки в естественных условиях. Однако, применение данной технологии осушки приводит к различным негативным последствиям: отчуждению больших площадей и земель, которые впоследствии становятся непригодными для сельскохозяйственного назначения; риску возникновения загрязнений близлежащих водных объектов через грунтовые воды, распространению неприятного запаха, неблагоприятной санитарной обстановке и прочим [4, 5].

Анализ последних исследований и публикаций

Известны различные способы утилизации осадка сточных вод. Однако, присутствие в сточных водах токсичных соединений ограничивает возможность его дальнейшего использования, например, в качестве удобрения для почв [6]. При решении вопросов защиты окружающей среды, в частности от вредного влияния твердых и газообразных отходов, перспективным является путь комплексного энерготехнологического использования осадков сточных вод в качестве вторичных энергетических ресурсов при условии очистки газовых выбросов, образующихся в процессе сжигания [7]. При этом перспективным является совместная термическая утилизация с прочими компонентами. Так авторы предлагают проводить совместное сжигание активного ила и бурого угля [8]. Сжигание избыточного активного ила обладает сочетанием нескольких преимуществ, которые

отсутствуют в других альтернативах обработки, включая значительное сокращение объема избыточного активного ила до стабилизированной золы, которая составляет всего 10 % от объема механически обезвоженного ила, и термическое разрушение токсичных органических компонентов [9]. Однако, при термической утилизации остро встает вопрос, связанный с очисткой газовых выбросов, образующихся после термической утилизации [10]. Одним из компонентов являются дисперсные частицы, попадающие в газовые выбросы. Размер частиц может существенно варьироваться, поэтому применение эффективных методов очистки является актуальной задачей.

Частицы мелкодисперсной пыли являются значимым фактором антропогенного загрязнения атмосферы, значительную долю которого формируют выбросы при сжигании твердых топлив. Находясь в воздушной среде, аэрозоли способны проникать в глубокие отделы респираторной системы человека, вызывая негативные последствия для здоровья населения. Эксплуатация систем термической утилизации также обуславливает возникновение ряда экологических рисков. Во избежание указанных негативных эффектов используются разнообразные методы газоочистки, включая сухие и мокрые электростатические осадители, а также скрубберы различной конструкции.

Так, например, отечественными авторами [11] разработан прямоугольный сепаратор, оборудованный несколькими рядами двутавровых элементов, в котором основным механизмом является центробежная сила при обтекании газовым потоком контактных устройств. Также [12] применяются электрофильтры с вращением электродов для снижения удельного электрического сопротивления. Представлена математическая модель процессов в электрофильтре с вращающимся электродом на основе применения уравнения Эйлера-Лагранжа. Существуют решения, направленные на повышение эффективности систем пылеулавливания с вихревыми инерционными аппаратами на встречных закрученных потоках [13].

Поэтому разработка и совершенствование методов, технологий и средств снижения негативного воздействия антропогенной хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, а также их математическое описание является важной и необходимой задачей [14, 15].

Цель статьи: Разработка эффективного метода и математической модели очистки газовых сред от дисперсных веществ,

образующихся в процессе термической утилизации осадков и отходов производства, обеспечивающих экологическую безопасность утилизации избыточного активного ила.

Материалы и методы исследования

В научном исследовании использовали методы физического и математического моделирования. Экспериментальные исследования проводили с использованием осадка биологической очистки сточных вод – избыточного активного ила, отхода энергетики – шлама водоподготовительных установок тепловых электрических станций (ВПУ ТЭС) и связующим – лигносульфонатом техническим.

Избыточный активный ил совместно с шламом ВПУ ТЭС направляются на гранулирование, продуктом которого являются топливные гранулы диаметром 5-7 мм методом окатывания. Связующим компонентом выступает технический лигносульфонат, гранулы готовят в массовом соотношении 9:1:3 (% масс.) (избыточный ил: шлам: связующее). Гранулы заданного диаметра разработаны для транспортировки пневмотранспортными системами и обеспечения точности количества введенного топлива в процессе сжигания. Выбор связующего обусловлен теплотворной способностью, сцепляющими свойствами и экологической безопасностью.

Проведен CHNS – анализ гранул, который реализован динамическим методом Дюма-Прегля, состоящим в высокотемпературном сжигании пробы с последующим разделением в насадочной газохроматографической колонке и детектированием продуктов сгорания при помощи высокочувствительного катарометрического детектора автоматизированного элементного анализатора EA-3000, Eurovector, S.p.A. в течении не более 5 минут.

Шлам ВПУ ТЭС представляет собой отход следующего химического состава (% масс.): карбонат кальция CaCO_3 – 71,0 %, гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 8,5 %; гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ < 1,0 %; диоксид кремния SiO_2 – 0,6 %, остальные прочие вещества – 19,0 %, определенный путем рентгенографического качественного фазового анализа с применением дифрактометра D 8 ADVANCE (Bruker)[16]. В шламе присутствуют гуминовые вещества – до 15,0 % масс.: на его поверхности имеется типовой набор функциональных групп гуминовых веществ: гидроксильной группы, иминогруппы, метильной, метиленовой групп, ароматических связей, карбоксильных групп и спиртовых групп, определенных с помощью газовой хроматомасспектрометрии на приборе Thermo Scientific DFS (условия: колонка DB-1, 30 м, 0,25-0,25;

время анализа 46 мин; температура термостата 120-280 °С, скорость нагрева 6 °С/мин, выдержка при 280 °С 20 мин; температура инжектора 280 °С; температура интерфейса 280 °С; скорость потока 1,0 мл; диапазон масс 50-500 а.е.м.; скорость сканирования 1 с).

Для обработки результатов измерений и вычисления погрешностей оценки измеряемой величины использован ГОСТ Р 8.736-2011. При проведении вычислительного эксперимента применялось компьютерное моделирование.

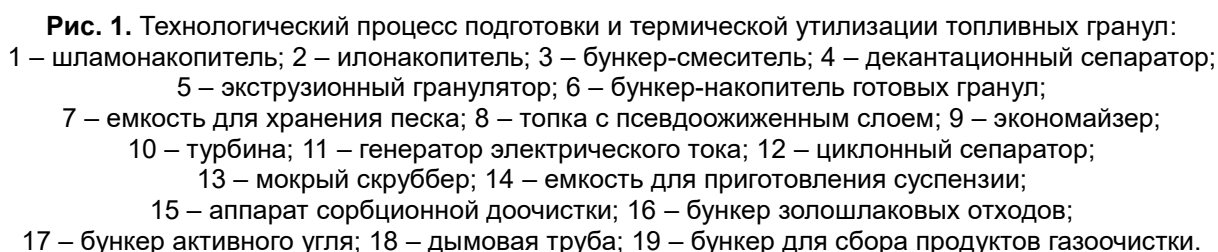
Результаты исследования и их обсуждение

Термическая утилизация отходов производства. Предложена технология термической утилизации избыточного активного ила совместно с шламом водоподготовительных установок тепловых электрических станций (ВПУ ТЭС), который повышает водоотдающую способность избыточного активного ила и позволяет рассматривать его в качестве вторичного энергетического ресурса. Разработанный процесс переработки избыточного активного ила методом термической утилизации в псевдоожиженном слое, включающий стадию предварительного обезвоживания сырья, а также дальнейшую рекуперацию тепла отходящих газов и очистку газов от продуктов сгорания, отображен на схеме (рис. 1). [16].

Результаты расчета материального баланса представлены в табл. 1.

Процесс сжигания топливных гранул, поступающих из накопительного бункера 6, осуществляется в топочном устройстве в псевдоожиженном слое. Топка с псевдоожиженным слоем 8 предназначена для термической деструкции обезвоженных осадков и встроена в конструкцию котлоагрегата тепловой электростанции. Принцип работы топочного устройства основан на явлении «кипения» слоя материала, создаваемого восходящим потоком газовой фазы, что обеспечивает интенсивную турбулизацию гранул и их «витание» по всему объему топки. Подача песка как инертного материала из емкости для хранения песка 7 обеспечивает стабилизацию температурного режима процесса. Выбран инертный материал с высоким значением теплоемкости, равным 0,835 кДж/(кг·К).

В процессе «кипения» реализуется значительное перемешивание топливных частиц, окислителя (воздуха), инертного материала и продуктов сгорания, что дает возможность не использовать механические перемешивающие устройства. Процесс горения при пуске установки производится с помощью подачи природного газа.



Показатель	Значение
Массовый расход топливных гранул, поступающих на сжигание, т/сут.	16,81
Концентрация золы в продуктах сгорания, кг/кг	0,0621
Объемный расход паров воды, образующихся при сжигании гранул, м³/кг	0,404
Объемный расход продуктов сгорания, образующихся при сжигании гранул, м³/кг	3,2047
Максимальный размер уносимых частиц золы из кипящего слоя, мм (при скорости псевдоожижения 2,5 м/с)	0,33
Объемный расход дымовых газов, образующихся при сжигании топливных гранул, м³/с	0.608

очередь, вращает ротор генератора электрического тока 11 для выработки электроэнергии. Часть пара отбирается для теплофикационных нужд предприятия.

Охлажденные до температуры 200-250 °С дымовые газы подаются на схему газоочистки с системой фильтрации для очистки от взвешенных частиц и аппарат адсорбционной очистки для тонкой очистки газовых выбросов.

Очистка дымовых газов, образующихся после термической утилизации. Очистка газовых выбросов после термической утилизации избыточного активного ила является важным компонентом экологической безопасности при реализации данного решения утилизации осадка очистных сооружений. Его состав

включает органические вещества, азотистые соединения, сероводород и другие примеси. При сгорании образуются газообразные продукты сгорания, содержащие токсичные компоненты, такие как диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), твердые компоненты, полихлорированные dibenzодиоксины и dibензофураны.

Сепарация твердых дисперсных частиц происходит в циклонах. Валовые выбросы загрязняющих компонентов в дымовых газах представлены в табл. 2.

Таблица 2. Валовые выбросы загрязняющих компонентов в дымовых газах

Показатель	Значение
Валовый выброс твердых частиц в дымовых газах после улавливания в батарейном циклоне, т/год	48,788
Валовый выброс оксида углерода, т/год	124,407
Валовый выброс оксидов азота в пересчете на диоксид азота, т/год	9,52
Валовый выброс оксидов серы в пересчете на диоксид серы, т/год	114,73
Валовый выброс ПХДД/ПХДФ, т/год	1,717

Охлажденные дымовые газы направляются в циклоны 12 для вывода золы и сепарации инертного материала. Далее очистка происходит в распыливающем адсорбере 13 путем сорбции кислых газовых компонентов – хлористого водорода, оксидов серы и азота, а также частичного разложения полихлорированных dibenzодиоксинов и dibензофуранов. Сорбентом является шлам водоочистки ТЭС, поступающий из шламонакопителя 1 [17].

На выходе из адсорбера температура газовой среды имеет значение 140 °С. Последующая доочистка от стойких органических загрязнителей, включая диоксины и фураны, происходит за счет ввода мелкодисперсного активированного угля из бункера 17 через аппарат сорбционной доочистки 15.

Концентрация оксидов азота в выбросах снижается с применением технологии рециркуляции дымовых газов. 20-30 % газового потока возвращается в зону горения топки котла с циркулирующим кипящим слоем 8, где происходит их термическое и каталитическое восстановление.

После прохождения всех стадий очистки обработанные газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу 18.

Математическое моделирование и разработка аппарата мокрой очистки газов от твердой фазы. При этом особое внимание следует уделить очистке газовых выбросов после адсорбционной очистки активированным углем. В газовый поток также попадает

оставшаяся зола-уноса, а также непрореагировавший шлам и продукты химических реакций.

Для очистки газа от тонкодисперсных частиц активированного угля, золы и непрореагировавших компонентов можно использовать различные технические решения, например, вихревые контактные элементы, шероховатые каналы, каналы с дискретно-регулярной шероховатостью и др. Представляется целесообразным применение высокоскоростных (10-40 м/с) контактных устройств с восходящим или нисходящим движением пленки жидкости (воды) и очищаемого газа. Причем нисходящий прямоток характеризуется меньшим гидравлическим сопротивлением, чем восходящий. Кроме этого, удалять загрязненную воду в таком аппарате проще. Схема такого аппарата представлена на рис. 2. Схема взаимодействия фаз представлена на рис. 3.

Газовый поток с дисперсной фазой поступает в аппарат через верхний патрубок (рис. 2), где также через боковой штуцер подается вода, которая распределяется по поверхности вертикальных трубок 2 в виде нисходящей пленки и транспортируется газовым потоком в нижнюю часть 3, где за счет силы инерции оседает с уловленной дисперсной фазой в эллиптическом днище и далее выводится через нижний патрубок. Очищенный газовый поток меняет свое направление движения на 180°, поднимается в верхнюю часть аппарата по кольцевому каналу и выводится через боковой штуцер.

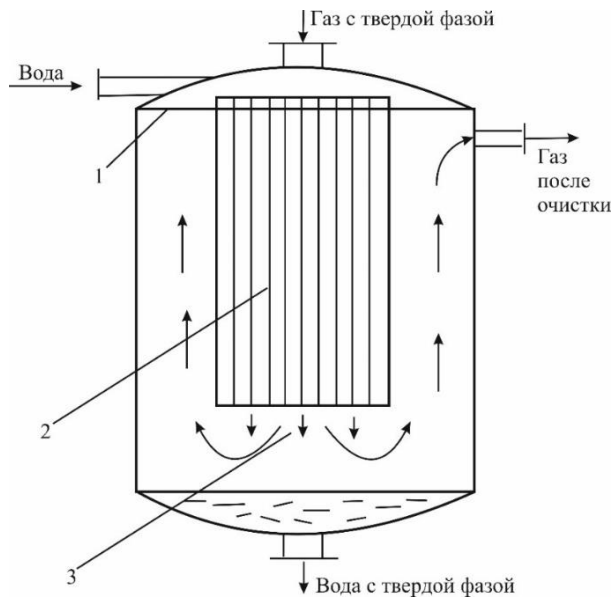


Рис. 2. Схема прямооточного аппарата очистки газов:

- 1 – трубная решетка;
- 2 – прямооточные элементы;
- 3 – инерционная зона

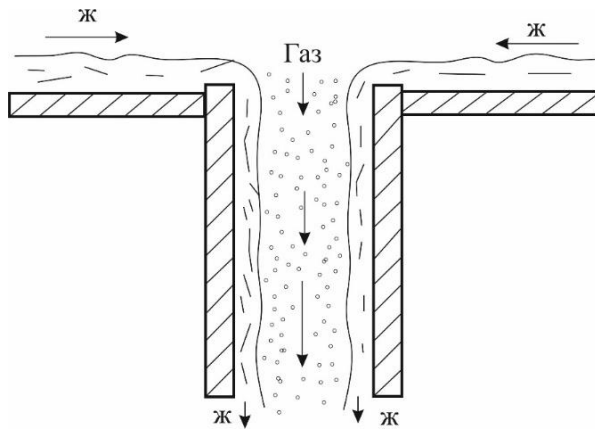


Рис. 3. Схема взаимодействия фаз

Высокоскоростной поток газа с пленкой жидкости характеризуется режимом сильного взаимодействия фаз, когда касательное напряжение трения $\tau_{г-ж}$, Па, значительно больше на стенке $\tau_{ст}$, Па, без учета взаимодействия с газом. В таком режиме применима модель турбулентно-инерционного переноса и осаждения аэрозольных частиц из газов на межфазную поверхность пленки воды. Подробно эта модель рассмотрена в работах [18, 19], где основным параметром является коэффициент скорости турбулентно-инерционного механизма, т.е. турбулентная миграция частиц к стенке (или межфазной поверхности) канала. Наибольшее применение получили выражения Медникова В. П. для расчета скорости турбулентной миграции u_t^+ в безразмерной форме [20]:

$$u_t^+ = u_t / u_* \quad (1)$$

где u_t – скорость турбулентной миграции частиц, м/с;

u_* – динамическая скорость, м/с.

при $\mu_p^2 \tau^+ \leq 16,6$

$$u_t^+ = 7,25 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\tau^+}{1 + \omega_E \tau_p} \right)^2, \quad (2)$$

при $\mu_p^2 \tau^+ > 16,6$

$$u_t^+ = 0,2, \quad (3)$$

где $\mu_p = \frac{1}{(1 + \omega_E \tau_p)^{0,5}}$ – безразмерный параметр;

τ_p – время релаксации для частицы, с;

$\omega_E = u_* / (0,05 d_3)$ – частота энергоемких пульсаций, с⁻¹;

d_3 – эквивалентный диаметр канала, м;

$\tau^+ = \tau_p u_*^2 / \vartheta_\Gamma$ – безразмерное время релаксации частиц;

ϑ_Γ – кинематический коэффициент вязкости газа, м²/с.

В приведенных выражениях не учитывается гравитационный и продольно-диффузионный механизмы переноса ввиду их относительной малости.

В эмпирических формулах различных авторов установлена квадратичная зависимость $u_t^+ = A(\tau^+)^2$ [18-20], где A – коэффициент пропорциональности, находится экспериментально.

Коэффициент скорости турбулентной миграции частиц $u_t = u_t^+ u_*$ зависит от динамической скорости u_* или касательного напряжения на стенке, $\tau_{ст}$:

$$u_* = \sqrt{\tau_{ст}/\rho_r}, \quad (4)$$

где ρ_r – плотность газа, кг/м³;

$\tau_{ст} \sim f(\Delta P_{г-ж})$, $\Delta P_{г-ж}$ – потеря давления газа, Па.

Динамическая скорость на поверхности раздела фаз пленки при взаимодействии с газом в цилиндрическом канале определяется из уравнения баланса сил:

$$\tau_{г-ж} F = \Delta P_{г-ж} S, \quad (5)$$

где $S = \pi(d - 2\delta_{ж})^2/4$ – площадь поперечного сечения канала, м²;

d – диаметр трубки, м;

$\delta_{ж}$ – средняя толщина пленки, м;

$F = \pi(d - 2\delta_{ж})H$ – площадь поверхности раздела фаз, м²;

H – длина канала, м;

$\Delta P_{г-ж}$ – потеря давления, Па.

Из выражения (5), учитывая, что $\tau_{г-ж} = u_*^2 \rho_r$, получим

$$u_* = \sqrt{\frac{\Delta P_{г-ж}(d - 2\delta_{ж})}{4\rho_r H}} \quad (6)$$

где перепад давления газа в орошаемом канале находится экспериментально [21].

Например, при нисходящем прямотоке известны зависимости для удельного перепада давления в трубке, представленные на рис. 4.

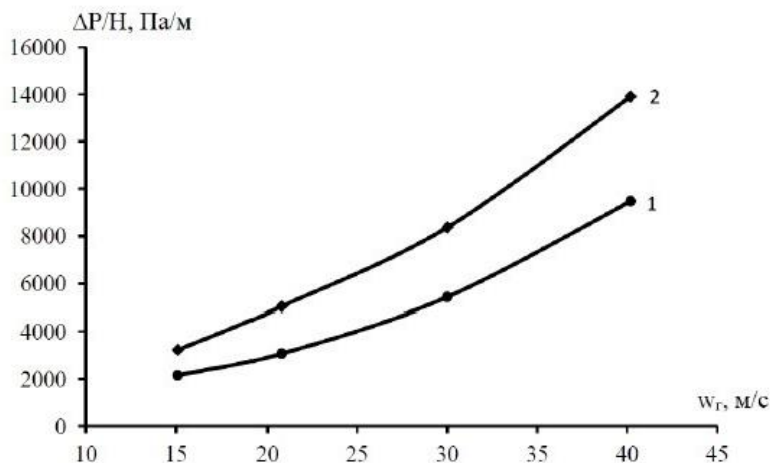


Рис. 4. Перепад давления в нисходящем осевом потоке.
1 – удельный расход воды 1,13 м³/(м·ч);
2 – 2,39 м³/(м·ч).
Точки – экспериментальные данные Булкина [21] для трубки диаметром $d = 0,0168$ м (погрешность экспериментальных данных составляет 4-5 %)

Расчет показывает, что при скорости газа $w_r = 20$ м/с и удельном расходе жидкости в пленке $q_{ж} = 1,13$ м³/(м·ч) имеем перепад давления $\Delta P_{г-ж} = 2400$ Па/м для трубки диаметром $d = 0,021$ м и значение динамической скорости $u_* = 3,54$ м/с; $\delta_{ж} = 3,5 \cdot 10^{-4}$ м.

Степень сепарации, η можно вычислить по выражению [18-20]:

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H} = 1 - \exp\left(-\frac{4u_t H(d - 2\delta_{ж})}{d^2 w_r}\right), \quad (7)$$

где C_H, C_K – начальная и конечная концентрация частиц, мг/м³.

Для частиц 3 мкм и 6 мкм имеем $\tau_p = 1,39 \cdot 10^{-5}$ и $\tau_p = 5,55 \cdot 10^{-5}$. Соответственно получены значения $\tau^+ = 9,6$ и $\tau^+ = 38,6$.

Для частиц диаметром 3 мкм имеем $u_t = 0,214$ м/с и диаметром 6 мкм имеем $u_t = 0,708$ м/с. Тогда сепарационная эффективность при длине контактной трубки $H = 1,0$ м для 3 мкм $\eta = 0,864$ и для 6 мкм $\eta = 0,998$. Как следует из расчетов сепарационная эффективность частиц активированного угля довольно высокая при диаметре более 3 мкм, а при более 6 мкм достигает 0,999.

Расход газа в одной контактной трубке $V_1 = \frac{w_r \pi d^2}{4} = 6,9 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Общий расход газа на очистку $V_r = 0,6$ м³/с (табл. 1), тогда число трубок $n = \frac{V_r}{V_1} = 87$ шт. с внутренним диаметром $d = 0,0021$ м и наружным 0,025 м. Мощность на подачу газа $N = \Delta P_{г-ж} V_r = 1,44$ кВт. С учетом входных и выходных патрубков получим не

более $N = 2,0$ кВт. Диаметр внутреннего корпуса $D_{\text{кв}} = 0,375$ м; наружного корпуса $D_{\text{кн}} = 1,1$ м; высота аппарата $H = 1,6$ м; скорость газа в кольцевом сечении принята $1,0$ м/с.

Расход воды составит значение $V_{\text{ж}} = q_{\text{ж}} \pi d n = 6,48 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$). После сепаратора требуется установка небольшого проточного отстойника с тонкослойными элементами. Так как разность плотностей активированного угля, золы и непрореагировавших компонентов ($\rho_{\text{г}} \approx 500 \text{ кг}/\text{м}^3$) и воды ($\rho_{\text{г}} \approx 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$) достаточно сильно отличается, то разделение фаз не представляет трудностей.

Если температура газа выше температуры воды, то кроме сепарации будет происходить процесс охлаждения газа. Метод расчета тепловой эффективности такого процесса представлен в работе [22].

Выводы

В данной работе представлен подход обработки осадка сточных вод путем термической утилизации и очистки газовых выбросов, образующихся при применении избыточного активного ила в качестве топлива. Разработанная

комплексная технология дает возможность повысить энергоресурсосберегающий эффект при вторичном применении осадков сточных вод с рекуперацией тепла отходящих газов после процесса сжигания активного ила и доочисткой газовых выбросов до нормативных значений.

Для очистки газов от дисперсных примесей, а также полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов применяется высокоскоростной контактный скруббер с нисходящим потоком жидкости (воды) и очищаемого газа, содержащего дисперсные включения. Предлагаемый сепаратор улавливает частицы 3 мкм с эффективностью около $86,5 \%$, а частицы диаметром 6 мкм с эффективностью $99,8 \%$. Таким образом, предлагаемая технология является экологически безопасной и представляет интерес для промышленных предприятий и предприятий жилищно-коммунального сектора.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00129, <https://rscf.ru/project/25-29-00129/>

The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-29-00129, <https://rscf.ru/project/25-29-00129/>

Список литературы

1. Калыгин В. Г. Промышленная экология. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 423 с.
2. Md Tareq Rahman, Abbas Mohajerani, Filippo Giustozzi. Recycling of waste materials for asphalt concrete and bitumen: A review. Materials, 2020, vol. 13, pp. 1495.
3. Гринин А. С., Новиков В. Н. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. 332 с.
4. Phosphate recovery using activated sludge cyanophycin: Adsorption mechanism and utilization as nitrogen-phosphorus fertilizer / Jinyu Zeng, Duoduo Chen, Jing Zhu [et al.]. Chemical Engineering Journal, 2023, vol. 476, no.11, pp. 146607.
5. Towards hydrogen production from waste activated sludge: Principles, challenges and perspectives / Qizi Fu, Dongbo Wang, Xiaoming Li [et al.]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, vol. 135, issue 1, pp. 110283.
6. Джумабекова Л. Б., Хабарова Е. И. Способы утилизации избыточного активного ила – отхода биологической очистки сточных вод // Академическая публицистика. 2018. № 4. С. 13–22.
7. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Т.3. Калуга: Изд-во Бочкаревой, 2003. 1024 с.

8. Analysis of the co-combustion of sewage sludge and coal by TG-MS / M. Otero, C. Díez, L. F. Calvo [et al.]. Biomass and Bioenergy, 2002, vol. 22, issue 4, pp. 319–329.

9. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions of typical sewage sludge incineration treatment route based on two case studies in China / Yang Yang, Yali Guo, Ning Fang [et al.]. Environmental Research, 2023, vol. 231, issue 1, pp. 115959.

10. Gaseous emissions from sewage sludge combustion in a moving bed combustor / L. Batistella, V. Silva, R. C. Suzin [et al.]. Waste Management, 2015, vol. 46, pp. 430–439.

11. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева [и др.] // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 15. С. 78–80.

12. Касимова Б. Р., Баубек А. А., Кусатаева А. К. Разработка математической модели электрофильтра с вращающимся осадительным электродом // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2013. Т. 322. № 2. С. 147–150.

13. Самойлова Е. Э., Лысикова Т. Д. Совершенствование технологии очистки газовых выбросов производства асфальтобетонных смесей // Вестник ДонНУСА. 2023. № 5 (163). С. 98–102.

14. Тугов А. Н. Современные технологии термической переработки твердых

коммунальных отходов и перспективы их реализации в России (обзор) // Теплоэнергетика. 2021. Т. 1. С. 3–20.

15. Шейх А. А. Анализ влияния процесса переработки отходов строительства на величину загрязнения атмосферного воздуха // Вестник ДонНАСА. 2022. № 5 (157). С. 56–61.

16. Исакова Р. Я., Нургалиев А. И. Обезвоживание и экологически безопасная термическая переработка избыточного активного ила // Безопасность техногенных и природных систем. 2024. Т. 8 (2). С. 26–36.

17. Николаева Л. А., Исакова Р. Я. Адсорбционная очистка газовых выбросов отходом производства от оксидов азота // Наука и техника в газовой промышленности. 2023. № 1 (93). С. 99–106.

18. Сугак Е. В., Войнов Н. А., Николаев Н. А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. 2-е изд. Казань: Отечество, 2009. 224 с.

19. Лаптев А. Г., Башаров М. М., Лаптева Е. А. Математические модели и методы расчетов тепломассообменных и сепарационных процессов в двухфазных средах. 2-е изд. Издательство: ТНТ, 2025. 288 с.

20. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М.: Наука, 1980. 378 с.

21. Лаптев А. Г. Гидромеханические процессы в аппаратах химической технологии. СПб: Издательство «Лань», 2024. 592 с.

22. Лаптев А. Г., Лаптева Е. А. Математическая модель тепломассообмена и сепарации аэрозолей в осевых и закрученных дисперсно-кольцевых потоках газа и жидкости // Инженерно-физический журнал. 2025. Т. 98. № 4. С. 1105–1114.

References

1. Kalygin V. G. *Promyshlennaya ekologiya* [Industrial ecology]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2007. 423 p.

2. Md Tareq Rahman, Abbas Mohajerani, Filippo Giustozzi. Recycling of waste materials for asphalt concrete and bitumen: A review. *Materials*, 2020, vol. 13, pp. 1495.

3. Grinin A. S., Novikov V. N. *Promyshlennye i bytovye othody: Hranenie, utilizaciya, pererabotka* [Industrial and household waste: Storage, disposal, processing]. Moscow: FAIR-PRESS, 2002, Russia.

4. Phosphate recovery using activated sludge cyano-phycin: Adsorption mechanism and utilization as nitrogen-phosphorus fertilizer / Jinyu Zeng, Duoduo Chen, Jing Zhu [et al.]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, vol. 476, no.11, pp. 146607.

5. Towards hydrogen production from waste activated sludge: Principles, challenges and perspectives / Qizi Fu, Dongbo Wang, Xiaoming Li [et al.]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 135, issue 1, pp. 110283.

6. Dzhumabekova L. B., Khabarova E. I. Sposoby utilizacii izbytochnogo aktivnogo ila - othoda biologicheskoy ochistki stochnyh vod [Methods for excess active sludge - waste from biological wastewater treatment disposal]. *Akademicheskaya publicistika*, 2018, issue 4, pp. 13-22.

7. Timonin A. S. *Inzhenerno-ekologicheskij spravochnik. T. 3* [Engineering and environmental reference book. Vol. 3]. Kaluga: Izd-vo Bochkarovoy, 2003. 1024 p.

8. Analysis of the co-combustion of sewage sludge and coal by TG-MS / M. Otero, C. Díez, L. F. Calvo [et al.]. *Biomass and Bioenergy*, 2002, vol. 22, is-sue 4, pp. 319–329.

9. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions of typical sewage sludge incineration treatment route based on two case studies in China / Yang Yang, Yali Guo, Ning Fang [et al.]. *Environmental Research*, 2023, vol. 231, issue 1, pp. 115959.

10. Gaseous emissions from sewage sludge combustion in a moving bed combustor / L. Batistella, V. Silva, R. C. Suzin [et al.]. *Waste Management*, 2015, vol. 46, pp. 430–439.

11. Ulavlivanie chastic iz dymovyh gazov pryamougol'nymi separatorami [Collection of particles from flue gases using rectangular separators] / A. V. Dmitriev, V. E. Zinurov, O. S. Dmitrieva [et al.]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, vol. 20., issue 15, pp. 78–80.

12. Kasimova B. R., Baubek A. A. and Kusataeva A. K. Razrabotka matematicheskoy modeli elektrofil'tra s vrashchayushchimsya osaditel'nyim elektrodom [Development of a mathematical model of an electrostatic precipitator with a rotating precipitating electrode]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2013, vol. 322, issue 2, pp. 147–150.

13. Samoilova E. E., Lysikova T. D. Sovershenstvovanie tekhnologii ochistki gazovyh monoproizvodstv asfal'tobetonnyh smesey [Improving the technology for cleaning gas emissions from the production of asphalt concrete mixtures]. *Vestnik DonNASA*, 2023, vol. 163, issue 5, pp. 98–102.

14. Tugov A. N. Sovremennye tekhnologii termicheskoy pererabotki tverdyh kommunal'nyh othodov i perspektivy ih realizacii v Rossii (obzor) [Modern technologies for thermal processing of municipal solid waste and prospects for their implementation in Russia (review)]. *Teploenergetika*, 2021, issue 1, pp. 3–20.

15. Shejh A. A. Analiz vliyaniya processa pererabotki othodov stroitel'stva na velichinu zagryazneniya atmosfernogo vozduha [Analysis of the

construction waste recycling impact on the amount of air pollution]. *Vestnik DonNASA*, 2022, vol. 157, issue 5, pp. 56–61.

16. Iskhakova R. Ya., Nurgaliev A. I. Obezvozhivanie i ekologicheski bezopasnaya termicheskaya pererabotka izbytochnogo aktivnogo ila [Dewatering and environmentally friendly thermal processing of excess activated sludge]. *Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnih system*, 2024, vol. 2, issue 8, pp. 26–36.

17. Nikolaeva L. A., Iskhakova R. Ya. Adsorbcionnaya ochkistka gazovyh vybrosov othodom proizvodstva ot oksidov azota [Gas emissions adsorption purification from industrial waste from nitrogen oxides]. *Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti*, 2023, vol. 93, issue 1, pp. 99–106.

18. Sugak E. V., Voynov N. A., Nikolaev N. A. *Ochkistka gazovyh vybrosov v apparatah s intensivnymi gidrodinamicheskimi rezhimami* [Cleaning of gas emissions in devices with intensive hydrodynamic modes]. Kazan: Otechestvo, 2009, 224 p.

19. Laptev A. G., Basharov M. M., Lapteva E. A. *Matematicheskie modeli i metody*

raschetov teplomassoobmennyyh i separacionnyh processov v dvuhfaznyh sredah [Mathematical models and methods for calculating heat and mass transfer and separation processes in two-phase media]. Stary Oskol: TNT, 2025. 288 p.

20. Mednikov E. P. *Turbulentnyj perenos i osazhdenie aerorozlej* [Turbulent transfer and sedimentation of aerosols]. Moscow: Nauka, 1980, 378 p.

21. Laptev A. G. *Gidromekhanicheskie processy v apparatah himicheskoy tekhnologii* [Hydromechanical processes in chemical engineering equipment]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Lan'», 2024, 592 p.

22. Laptev A. G., Lapteva, E. A. Matematicheskaya model' teplomassoobmena i separacii aerorozlej v osevyh i zakruchennyh dispersno-kol'cevyh potokah gaza i zhidkosti [A mathematical model of heat and mass transfer and separation of aerosols in axial and swirling dispersed-annular flows of gas and liquid]. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*, 2025, vol. 98, issue 4, pp. 1105–1114.

Исхакова Регина Яновна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»,

Российская Федерация, Казань

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность труда»,

E-mail: imreginaiskh@gmail.com

Iskhakova Regina Yanovna

Federal state budgetary educational institution of higher education

«Kazan state power engineering university»,

Russian Federation, Kazan

candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of «Engineering ecology and labor safety»,

E-mail: imreginaiskh@gmail.com

Лаптев Анатолий Григорьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Казанский государственный энергетический университет»,

Российская Федерация, Казань

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда»,

E-mail: tv_t_kgeu@mail.ru

Laptev Anatoly Grigorievich

Federal state budgetary educational institution of higher education «Kazan State Power Engineering University»,

Russian Federation, Kazan.

doctor of technical sciences, professor, professor of the department of «Engineering ecology and labor safety»

E-mail: tv_t_kgeu@mail.ru

УДК 543.57:674.03

DOI 10.48612/ntp/93nr-7aa4-78ga

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СГОРАНИЯ ПРИРОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ТЕРМОГРАВИМЕТРИИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

С. В. МАСЛЕННИКОВ¹, А. И. ИЛЬЧЕВА², Д. С. РЫБИН²

¹ Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Российская Федерация, г. Нижний Новгород.

² Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы
«Испытательная пожарная лаборатория» по Нижегородской области,
Российская Федерация, г. Нижний Новгород

E-mail: smaslenn@mail.ru, a.ilicheva@ipl.52.mchs.gov.ru, d.rybin@ipl.52.mchs.gov.ru

Методами термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии изучен процесс окислительной термодеструкции различных частей березы повислой и ели обыкновенной (древесина, корка, луб, хвоя). Для всех образцов получены зависимости величины и скорости потери массы, а также дифференциального и интегрального теплового эффекта от температуры. По пикам кривых скорости потери массы и дифференциального теплового эффекта выявлены основные стадии процесса окислительного термического разложения перечисленных тканей в присутствии кислорода воздуха, а именно термическое удаление воды и других летучих веществ, пиролиз целлюлозы и гемицеллюлозы, а также окончательное окисление остатков лигнина и угля. Установлены закономерности потери массы и теплового эффекта в зависимости от стадии процесса, природы и химического состава изученных тканей. С использованием уравнения Бройдо определены энергии активации стадий процесса. Вычислены температуры воспламенения, максимальные скорости горения и выгорания для основных этапов термодеструкции, а также индексы воспламенения и горения. Установлена зависимость тепловых эффектов стадий окислительной термической деструкции от того, является растение листовым или хвойным, а также от природы изучаемой ткани.

Ключевые слова: термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия, окислительная термодеструкция, древесина, корка, луб, береза, ель, параметры горения

ANALYSIS OF COMBUSTION PROCESSES OF NATURAL PLANT PARTS BY THERMOGRAVIMETRY AND DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY METHODS

S. V. MASLENNIKOV¹, A. I. ILICHEVA², D. S. RYBIN²

¹ Nizhny Novgorod Architectural and Construction University,
Russian Federation, Nizhniy Novgorod.

² Forensic expert institution of the Federal fire service «Test fire laboratory» in the Nizhniy Novgorod region,
Russian Federation, Nizhniy Novgorod

E-mail: smaslenn@mail.ru, a.ilicheva@ipl.52.mchs.gov.ru, d.rybin@ipl.52.mchs.gov.ru

Thermogravimetry and differential scanning calorimetry were used to study the oxidative thermal destruction of various parts of silver birch and Norway spruce (wood, bark, bast, and needles). Dependences on the magnitude and rate of mass loss, as well as the differential and integral thermal effects, were obtained for all samples as functions of temperature. The peaks of the mass loss rate and differential thermal effect curves were used to identify the main stages of oxidative thermal decomposition of these tissues in the presence of atmospheric oxygen. These stages include the thermal removal of water and other volatiles, the pyrolysis of cellulose and hemicellulose, and the final oxidation of lignin and carbon residues. Patterns of mass loss and thermal effect were established depending on the stage of the process and the nature and chemical composition of the tissues studied. The activation energies of the process stages were determined using the Broido equation. Ignition temperatures, maximum combustion and burnout rates for the main stages of thermal degradation, and ignition and combustion indices were calculated. The dependence of the thermal effects of the stages of oxidative thermal destruction on whether the plant is deciduous or coniferous, as well as on the nature of the tissue being studied, has been established.

Key words: thermogravimetry, differential scanning calorimetry, oxidative thermal degradation, wood, bark, bast, birch, spruce, combustion parameters

В последние годы значительное внимание уделяется изучению термических превращений природных материалов, в том числе древесины, с использованием методов термогравиметрии (ТГМ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Данная информация необходима для разработки технологий термического модифицирования древесины, технологий лесохимии, в т.ч. пиролиза, оценки пожароопасности природных веществ и материалов. Использование методов ТГМ и ДСК позволяет идентифицировать стадии термических превращений и их тепловой эффект, выделить температуры начала и окончания процесса, определить энергию активации. Большинство работ в данной области посвящены изучению термических превращений массива древесины. Так, в работе [1] рассматриваются термические превращения различных пород древесины, произрастающих в Сибирском регионе. В работе [2] методом термогравиметрического анализа исследованы процессы горения опилок лиственных (береза, липа, ольха, осина) и хвойных (ель, сосна) пород деревьев. По кривым термогравиметрии и дифференциального термического анализа определены температуры воспламенения и выгорания коксового остатка исследуемых образцов, а также индексы воспламенения и горения. В то же время распространение пламени в процессе природных пожаров определяется, в первую очередь, свойствами внешних тканей (корка, луб, хвоя) и мелких веток. Отличие химического состава внешних тканей дерева приводит к различному поведению в процессе термической деструкции. Также их термические свойства важны при переработке отходов лесозаготовок, а также при изготовлении биотоплива. Целью настоящей работы является сравнительный анализ процессов термодеструкции различных тканей хвойных и лиственных пород: собственно древесины, корки, луба и хвои, а также выявление зависимостей скоростей и тепловых эффектов процессов от природы растений и изучаемых тканей.

В настоящей работе исследовались следующие ткани лиственных и хвойных пород деревьев: древесина, корка и луб березы повислой (береза, *Bétula réndula*), корка, древесина и хвоя ели обыкновенной (ель, *Píceá ábies*). Под коркой подразумевается наружная часть коры деревьев. Под лубом понимается внутренняя часть коры, непосредственно прилегающая к древесине и ответственная за транспорт питательных веществ. Образцы были высушены в естественных условиях, влагосо-

исключением хвои) составляло до 10 %. Термогравиметрия и дифференциальная сканирующая калориметрия выполнены с помощью прибора STA 449 F3 Jupiter фирмы NETZSCH. Изученные образцы проанализированы в атмосфере воздуха при следующих условиях. Скорость нагрева $20\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ от $24\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $897\text{ }^{\circ}\text{C}$, масса образцов находилась в интервале $7.54\text{--}11.43\text{ мг}$, тигель Al_2O_3 . Калибровка осуществлялась по инструкции и с использованием реперных веществ, прилагаемых к прибору. Масса образцов для анализа определялась взвешиванием на встроенных весах прибора. Обработка результатов измерений осуществлялась с помощью программного обеспечения «NETZSCH Proteus – Термический анализ – Version 5.2.1». Дополнительная обработка данных была осуществлена в программе MS Excel.

Кривые скорости потери массы образцов (dM/dt) приведены на рис. 1 на примере древесины и луба березы.

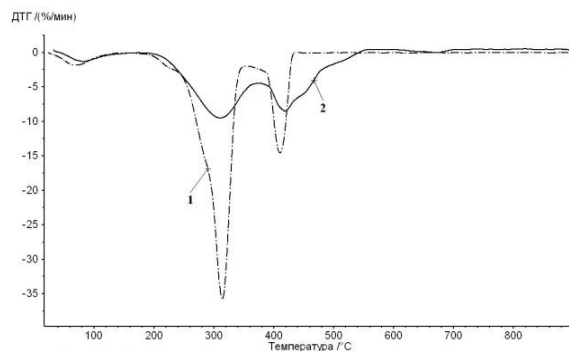


Рис. 1. Кривая ДТГ сердцевины березы (1) и луба березы (2) в условиях окислительной термодеструкции

Во всех случаях можно выделить три основных пика. Первый приходится на область до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и соответствует удалению из образцов остаточной влаги, а в случае хвои еще и компонентов эфирных масел [3]. Для всех образцов кроме хвои ели данный этап характеризуется небольшой (до 7 %) потерей массы и минимальным тепловым эндо-эффектом. В случае хвои ели потеря массы составляет 38 %, а на графике ДСК наблюдается более выраженный эндо-эффект – 775 Дж/г , что, вероятно, объясняется более высоким содержанием влаги, а также эфирных масел в образцах хвои [3]. Второй пик наблюдается, в зависимости от образца, в интервале $238\text{--}364\text{ }^{\circ}\text{C}$. Он характеризуется потерей массы образца $23,8\text{--}54,5\text{ }\%$, при

этом минимальные относительные потери наблюдаются у хвои ели, а максимальные – у древесины березы (табл. 1).

В табл. 1 приведены определенные в соответствии с методикой [4] значения времени и температуры воспламенения t_i и T_i , времени и

температуры выгорания t_b и T_b , времени и температуры максимальной скорости горения t_{max} и T_{max} , средняя и максимальная скорости горения (R_{mean} и R_{max}), а также индекс воспламенения и индекс горения для двух основных стадий сгорания образцов.

Таблица 1. Характеристики окислительной термической деструкции различных частей березы и ели

	Корка березы	Луб березы	Береза древесина	Ель древесина	Корка ели	Игла хвои
1-я стадия термодеструкции						
t_i , мин	12,8	11,6	12,8	12,9	12,3	11,1
t_{max} , мин	15,0	14,2	14,3	14,3	14,2	15,2
t_b , мин	16,1	15,9	14,9	14,8	15,2	16,7
T_i , °C	279	250	280	282	268	238
T_{max} , °C	334	313	315	315	313	338
T_b , °C	353	349	329	327	331	364
$T_b - T_i$, °C	74	99	49	45	63	126
Величина потери массы в данном интервале температур, %	35,0	35,0	54,5	41,2	34,5	23,8
R_{mean}	10,3	8,0	25,4	21,1	12,6	4,3
R_{max}	14,3	10,3	45,6	32,7	18,3	5,5
Индекс воспламенения	0,059	0,045	0,215	0,026	0,026	0,059
Индекс горения, $\cdot 10^6$	5,35	4,00	44,90	0,98	0,98	5,35
2-я стадия термодеструкции						
t_i , мин	20,1	18,5	18,4	19,3	19,4	20,1
t_{max} , мин	20,5	19,2	19,0	20,0	19,9	22,2
t_b , мин	21,0	22,5	19,7	21,0	21,1	24,0
T_i , °C	431	400	396	414	417	431
T_{max} , °C	439	413	410	430	428	473
T_b , °C	450	477	425	449	452	507
$T_b - T_i$, °C	19	77	29	35	35	76
Величина потери массы в данном интервале температур, %	13,0	27,7	16,6	17,9	17,5	14,5
R_{mean}	9,2	6,8	12,1	10,1	10,2	3,8
R_{max}	18,1	11,0	16,0	14,9	15,2	5,0
Индекс воспламенения	0,042	0,026	0,043	0,026	0,026	0,059
Индекс горения, $\cdot 10^6$	1,99	0,98	2,90	0,98	0,98	5,35

Наблюдаемые закономерности, по всей вероятности, связаны с тем, что второй пик скорости в целом соответствует разложению гемицеллюлозы и целлюлозы [1]. При этом, согласно [5] содержание целлюлозы и гемицеллюлозы в хвойных породах ниже по сравнению с лиственными, чем, вероятно, и объясняется меньшая потеря массы древесины ели по сравнению с

березой. Согласно тому же источнику, содержание целлюлозы и гемицеллюлозы в корке и лубе существенно ниже по сравнению с древесиной. Это объясняет более низкую потерю массы коры по сравнению с древесиной, как в случае березы, так и в случае ели.

Третий пик наблюдается в интервале температур 396–506 °C, он связан с

завершением термодеструкции целлюлозы и лигнина и сгоранием образовавшегося в процессе термического разложения древесного угля [1]. Наибольшей потерей массы в данном температурном интервале характеризуется луб березы (табл. 1), для остальных образцов эта величина имеет сопоставимое значение.

Обращает на себя внимание тот факт, что кривые ДТГ для луба березы имеют намного более широкие пики более сложной формы по сравнению с древесиной (рис. 1). Это может быть объяснено отличиями в химическом составе, а именно, высоким содержанием суберина в лубе. Также свои особенности имеет кривая ДТГ хвои ели (рис. 2).

Она характеризуется большим пиком в области 93-98 °С, обусловленным удалением воды и других летучих веществ и широкой областью термодеструкции без выраженных пиков в интервале 200-450 °С. Особенности термической деструкции луба березы и хвои ели, а также их связь с химическим составом обсуждаются ниже.

Энергия активации была рассчитана при помощи уравнения Бройдо [1], путем определения угла наклона графика $\ln \left[\ln \left(\frac{1}{y} \right) \right] - \frac{1}{T}$ где Y – массовая доля неразложившейся части образца, T – абсолютная температура, K .

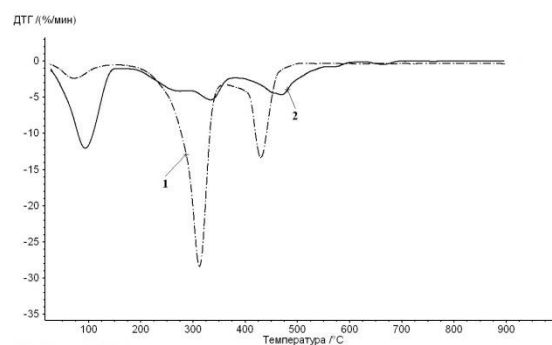


Рис. 2. Кривая ДТГ сердцевины ели (1) и хвои ели (2) в условиях окислительной термодеструкции

Энергия активации рассчитана как:

$$E_a = R \cdot \alpha, \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная, α – тангенс угла наклона прямой в координатах $\ln \left[\ln \left(\frac{1}{y} \right) \right] - \frac{1}{T}$.

Энергии активации приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены максимумы температуры экзо-эффектов на кривых ДСК, а также интегральные экзо-эффекты сгорания образцов (табл. 3).

Таблица 2. Энергия активации термических превращений различных частей березы и ели

Образец	Температурный интервал, °С	Энергия активации, кДж/моль	Степень превращения, %
Древесина ели	260-305	38,1	87,5-58,5
	325-390	20,7	39,9-26,2
	420-485	267,5	19,7-0,5
Корка ели	273-313	36,4	80,6-55,0
	323-398	27,8	51,5-30,6
	418-493	121,3	25,8-3,5
Игла хвои	133-223	2,0	62,1-57,9
	288-388	21,0	48,3-29,5
	423-578	62,7	24,9-4,6
Древесина березы	265-315	58,7	87,4-46,8
	330-400	23,5	26,3-16,2
	405-420	402,4	12,5-2,8
Корка березы	234-424	33,4	95,0-34,0
	434-524	138,9	31,0-2,3
Луб березы	243-398	29,3	89,8-40,7
	403-518	71,2	39,3-8,2
	628-673	22,2	6,6-5,7

Таблица 3. Тепловой эффект термических превращений различных частей березы и ели

Образец	Температурный интервал, °C	Температура максимума экзотермы – 1, °C (величина пика)	Q_1 , мВт/мг	Температура максимума экзотермы – 2, °C, (величина пика)	Q_2 , мВт/мг	Экзоэффект, Дж · г ⁻¹
Береза (древесина)	185-450	329,9	26,42	426,5	34,75	6314
Береза (корка)	189-529	345,6	19,55	446,6; 474,2	42,09	11056
Береза (луб)	188-553	341,8	17,98	420,0; 436,4	28,34	11564
Ель (древесина)	180-505	332,7	16,35	435,0	24,55	5547
Ель (корка)	168-528	327,6	19,26	435,9	34,54	9564
Ель (хвоя)	148-633	-		478,0	16,20	8491

Выраженный эндо-эффект на кривых ДСК наблюдается у хвои ели (-775 Дж/г) при минимуме 98,1 °C со значением 2964 мВт/мг. Это связано с более высоким содержанием влаги, а также присутствием летучих компонентов эфирных масел в хвойных породах [3], которые удаляются с поглощением тепла. На кривой ДСК хвои наблюдается основной максимум при температуре 478 °C.

Особенностью кривой ДСК хвои (рис. 3) являются «сглаженные» пики.

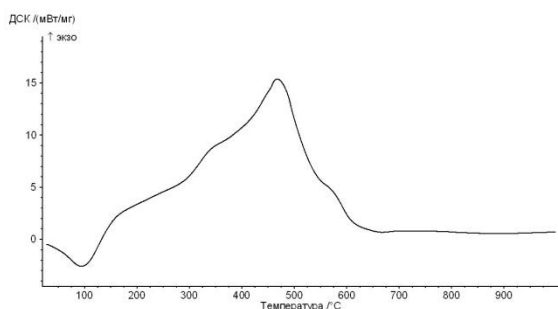


Рис. 3. Кривая ДСК хвои ели в условиях окислительной термодеструкции

Это, по всей вероятности, обусловлено отличием химического состава хвои от коры и древесины. Так, согласно [4] содержание экстрактивных веществ в ней более чем в 10 раз превышает аналогичный показатель для древесины. При этом в состав водного экстракта входят фенольные соединения, дубильные вещества, углеводы, карбоновые кислоты, азотсодержащие соединения, некоторые витамины. Среди веществ, экстрагируемых органическими растворителями, присутствуют эфирные масла, каротиноиды, фосфолипиды, зеленые пиг-

менты, витамины. Широкий спектр соединений с различными температурами термической деструкции приводит к «размыванию» пиков ДСК. Анализ вторых производных кривых ДСК показывает дополнительные пики при температурах 358 °C и 568 °C.

У остальных образцов наблюдаются два пика экзо-эффекта: один в области 330-346 °C, второй – 420-478 °C. По времени и температуре они близки к наблюдаемым максимумам убыли массы. Термические превращения корки характеризуются более высоким тепловым эффектом по сравнению с массивом древесины как в случае березы, так и в случае ели. Максимальный тепловой экзо-эффект (более 11 кДж/г) наблюдается у корки и луба березы. Также они характеризуются максимальными величинами пиков. Кривые ДСК корки и луба березы содержат дополнительные пики в области 420-460 °C (479 °C для корки; 418 °C и 455 °C для луба). Основной особенностью химического состава корки березы является высокое содержание суберина [6], содержание которого в бересте может достигать 33 %. Суберин является биополимером – сложным эфиром, содержащим глицериновый остаток, а также ароматические и алифатические группы [7]. Суберин придает клеточной стенке гидрофобные свойства, препятствует проникновению через неё воды и газов, снижает теплопроводность. Согласно [7] термическое разложение суберина происходит в температурном интервале 200-400 °C и протекает в 4 этапа, что может объяснять дополнительные пики на кривой ДСК корки березы, а также описанные ранее «размытые» пики на кривой ДТГ (рис. 1).

Выводы

Тепловой эффект окислительной термической деструкции лиственных пород (березы) превышает таковой для хвойных пород (ель). Тепловой эффект сгорания внешних тканей (корки и луба) существенно выше по сравнению с древесиной той же породы. При этом процессы с участием внешних тканей имеет более

низкую энергию активации по сравнению с массивом древесины. Отличие химического состава коры и хвои (в случае коры березы – наличие суберина, в случае хвои – большое количество разнообразных экстрактивных веществ) приводит к размыванию пиков на кривых ДТГ и ДСК.

Список литературы

1. Лоскутов С. Р., Шапченкова О. А., Анискина А. А. Термический анализ древесины основных лесобразующих пород средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 17–30.

2. Термогравиметрический анализ опилок лиственных и хвойных пород деревьев / Н. Ш. Лебедева, Е. П. Гришина, Д. Г. Снегирев [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3(48). С. 83–88.

3. Сравнительный анализ летучих веществ хвои пятихвойных сосен северной и восточной Евразии / Д. В. Домрачев, Е. В. Карпова, С. Н. Горошкевич [и др.] // Химия растительного сырья. 2011. № 4. С. 89–98.

4. Термогравиметрический анализ горения каменных углей Республики Хакасия, сосновых опилок и их смесей / А. В. Жуйков, А. И. Матюшенко, П. Н. Кузнецов [и др.] // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия: Техника и Технологии. 2021. № 14(6). С. 611–622.

5. Тарасов С. М., Кононов Г. Н. Комплексная химическая переработка древесины. Технология лесохимических и гидролизных производств. Учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки 18.03.01, 18.04.01. М.: ФГБОУ ВО МГУЛ, 2016. 122 с.

6. Ведерников Д. Н., Шабанова Н. Ю., Роцин В. И. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula Pendula* Roth. (Betulaceae) по высоте дерева // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 43–48.

7. Выделение и применение суберина из бересты коры березы / И. Г. Судакова, Н. В. Гартынцева, И. П. Иванов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2012. Т. 5. № 2. С. 168–177.

of Central Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2015, issue 6, pp. 17–30.

2. Termogravimetricheskij analiz opilok listvennykh i khvoynykh porod derev'yev [Thermogravimetric analysis of sawdust of deciduous and coniferous trees] / N. Sh. Lebedeva, E. P. Grishina, D. G. Snegirev [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 48, issue 3, pp. 83–88.

3. Sravnitel'nyy analiz letuchikh veshchestv khvoi pyatikhvoynykh sosen severnoy i vostochnoy Yevrazii [Comparative analysis of substances in the needles of five-needle pines of northern and eastern Eurasia] / D. V. Domrachev, E. V. Karpova, S. N. Goroshkevich [et al.]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, issue 4, pp. 89–98.

4. Termogravimetricheskij analiz goreniya kamennykh ugley Respubliki Khakasiya, sosnovykh opilok i ikh smesey [Thermogravimetric analysis of the combustion of Khakassia coal, pine sawdust and their blends] / A. V. Zhuikova, A. I. Matyushenko, P. N. Kuznetsov [et al.]. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta. Seriya: Tekhnika i Tekhnologii*, 2021, vol. 14, issue 6, pp. 611–622.

5. Tarasov S. M., Kononov G. N. Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny. Tekhnologiya lesokhimicheskikh i gidroliznykh proizvodstv. Uchebno-metodicheskoye posobiye dlya studentov napravleniya podgotovki 18.03.01, 18.04.01 [Complex chemical processing of wood. Technology of forest chemical and hydrolysis production. Study guide for students of the training program 18.03.01, 18.04.01]. Moscow: FGBOU VO MGUL, 2016, 122 p.

6. Vedernikov D. N., Shabanova N. Yu., Roshchin V. I. Izmeneniye khimicheskogo sostava korki i luba berezy povisloy *Betula Pendula* Roth. (Betulaceae) po vysote dereva [Changes in the chemical composition of the bark and bast of silver birch *Betula Pendula* Roth. (Betulaceae) with tree height]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, issue 2, pp. 43–48.

7. Vydeleniye i primeneniye suberina iz beresty kory berezy [Isolation and application of suberin from outer birch-bark] / I. G. Sudakova, N. V. Gartyntseva, I. P. Ivanov [et al.]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya*, 2012, issue 5, pp. 168–177.

References

1. Loskutov S. R., Shapchenkova O. A., Aniskina A. A. Termicheskiy analiz drevesiny osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod sredney Sibiri [Thermal analysis of wood of the main tree species

Масленников Станислав Владимирович

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Российская Федерация, г. Нижний Новгород

доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности

E-mail: smaslenn@mail.ru

Maslennikov Stanislav Vladimirovich

Nizhny Novgorod State Architectural and Construction University,

Russian Federation, Nizhniy Novgorod

doctor of chemical sciences, professor of the technosphere safety department

E-mail: smaslenn@mail.ru

Ильичева Алена Игоревна

Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Нижегородской области,

Российская Федерация, г. Нижний Новгород

кандидат химических наук, начальник сектора аттестации экспертов

E-mail: a.ilicheva@ipl.52.mchs.gov.ru

Ilicheva Alena Igorevna

Forensic expert institution of the Federal fire service «Test fire laboratory» in the Nizhniy Novgorod region,
Russian Federation, Nizhniy Novgorod

candidate of chemical sciences, the chief of the expert attestation sector

E-mail: a.ilicheva@ipl.52.mchs.gov.ru

Рыбин Дмитрий Сергеевич

Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Нижегородской области,

Российская Федерация, г. Нижний Новгород

старший инженер сектора исследовательских и испытательных работ
в области пожарной безопасности

E-mail: d.rybin@ipl.52.mchs.gov.ru

Rybin Dmitriy Sergeevich

Forensic expert institution of the Federal fire service «Test fire laboratory» in the Nizhniy Novgorod region,
Russian Federation, Nizhniy Novgorod

the engineer of the fire safety research and testing sector

E-mail: d.rybin@ipl.52.mchs.gov.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальностям журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.
- экспертное заключение о возможности открытой публикации материалов в журнале;

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

- формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликации) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Формулы нумеруют в круглых скобках по правому краю страницы;

- в тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на таблицы, рисунки, графики;

- графики, рисунки и фотографии монтируются в текст после первого упоминания о них. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде

ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обязательно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымопроницаемой мембраны в сложенном состоянии;

- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;

- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;

- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;

- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: *Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;*

- единственная в статье таблица не нумеруется: *Таблица. Анализ оборудования для подачи воздушно-механической пены;*

- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;

- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;

- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

- список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;

- список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

Материалы предоставляются по адресу:
Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Редакция журнала «Современные проблемы гражданской защиты»,
тел.: (4932) 93-08-00 доб. 15-60; e-mail: journal@edufire37.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 4 (57), 2025

16+

Дата выхода в свет 25.12.2025 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 19,6. Тираж 100 экз.
Заказ № 1114. 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