

ISSN 2658-6223

Управление
в организационных системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

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

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

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
строительства
и городского хозяйства
(технические науки)

Пожарная и промышленная
безопасность
(технические науки)

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

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

№ 2 (43), 2022



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.

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Члены редколлегии:

Акулова Марина Владимировна – д-р техн. наук, профессор, Советник РААСН, заведующий кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

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

Барбин Николай Михайлович – д-р техн. наук, проф., старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)

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, проф., Ивановский государственный химико-технологический университет (Россия, г. Иваново)

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

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

Ерофеев Владимир Трофимович – д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (Россия, Республика Мордовия, г. Саранск)

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

Камлюк Андрей Николаевич – канд. физ.-мат. наук, доц., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Минск)

Ковтун Вадим Анатольевич – д-р техн. наук, проф., Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Гомель)

Колобов Михаил Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой механики и компьютерной графики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Королева Светлана Валерьевна – д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО Ивановской государственной медицинской академии Минздрава России (Россия, г. Иваново)

Лопанов Александр Николаевич – д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет (Россия, г. Белгород)

Назарычев Александр Николаевич – д-р техн. наук, профессор, ректор ФГАО ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» Министерства энергетики РФ (Россия, г. Санкт-Петербург)

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

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

Сырбу Светлана Александровна – д-р хим. наук, профессор, заместитель начальника Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (по развитию внебюджетной деятельности) (Россия, г. Иваново)

Теличенко Валерий Иванович – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РААСН, президент Национального исследовательского университета «Московский государственный строительный университет» (Россия, г. Москва)

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

Хафизов Ильдар Фанильевич – д-р техн. наук, доцент, 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)

Шарнина Любовь Викторовна – д-р техн. наук, профессор кафедры химических технологий волокнистых и красящих веществ ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Шевцов Сергей Александрович – д-р техн. наук, профессор кафедры специальной подготовки ФГБОУ ДПО Воронежского института повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

Технический редактор: Чуприна Ольга Сергеевна

Подписной индекс в каталоге «Почта России» – ПН138.

Подписано в печать 23.06.2022 г. Формат 60х90 1/8. Усл. печ. л. 19,25. Тираж 100 экз. Заказ №83.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-73129 от 22.06.2018

(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. 571; e-mail: journal@edufire37.ru

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

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

Горина С. В., Тихановская Л. Б. Формирование готовности к профессиональной деятельности в изменяющемся мире	5
Gorinova S. V., Tikhonovskaya L. B. Formation of readiness for professional activity in a changing world .	5
Гринченко Б. Б., Тараканов Д. В., Шалявин Д. Н., Тимошенко В. К. Модель для оценки надежности системы дистанционного мониторинга параметров безопасности газодымозащитников.....	13
Grinchenko B. B., Tarakanov D. V., Shalyavin D. N., Tymoshenko V. K. Reliability model of remote monitoring system safety parameters firefighters.....	13
Кондратьев Е. Б., Мазаник А. И., Фрайденберг А. Г., Каирбеков К. К. Возможности использования известного научно-методического аппарата для обоснования рационального варианта комплектования специальных формирований гражданской обороны.....	20
Kondratiev E. B., Mazanik A. I., Freidenberg A. G., Kairbekov K. K. Analysis of the well-known scientific and methodological apparatus and assessment of the possibility of its use to substantiate the rational option of recruiting special civil defense formations	20
Кузнецов А. В., Бутузов С. Ю., Тараканов Д. В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара	27
Kuznetsov A. V., Butuzov S. Y., Tarakanov D. V. Algorithm for assessing the importance of the tasks of organizing monitoring of a large fire	27
Мареев М. А., Денисов А. Н. Анализ методов и моделей поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров	34
Mareev M. A., Denisov A. N. Analysis of methods and models to support the management of fire and rescue units in fire extinguishing	34
Мурзин А. А., Сафронов Н. А., Смирнов А. В. Исследование процедуры принятия решений по планированию технического обслуживания системы противопожарной защиты	43
Murzin A. A., Safronov N. A., Smirnov A. V. Study of the decision-making procedure for planning the maintenance of the fire protection system.....	43

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY (TECHNICAL)

Воронцов Т. С., Иванов А. В. Исследование физико-химических свойств водногелевых огнетушащих составов в условиях ликвидации горения промышленных взрывчатых веществ и их компонентов.....	50
Vorontsov T. S., Ivanov A. V. Study of the physico-chemical properties of water-gel fire extinguishing compositions under the conditions of combustion elimination of industrial explosives and their components	50
Дмитриев О. В., Попов В. И., Пуганов М. В. Применение микрокапсул в тушении пожаров	59
Dmitriyev O. V., Popov V. I., Puganov M. V. The use of microcapsules in fire fighting	59
Иванов В. Е., Пучков П. В., Топоров А. В. Разработка конструкции устройства со стропорезом для разбивания автомобильных стекол	66
Ivanov V. E., Puchkov P. V., Toporov A. V. Design development of a device with a slinger for breaking car windows	66
Квасов М. В., Легкова И. А., Никифоров А. Л. Разработка бюджетных систем пожаротушения для объектов индивидуального жилищного строительства	72
Kvasov M. V., Legkova I. A., Nikiforov A. L. Development of budget fire extinguishing systems for individual housing construction objects	72

Куликов И. М., Бубнов В. Б. Моделирование процессов аварийного истечения углеводородных смесей.....	79
Kulikov I. M., Bubnov V. B. Simulation of emergency outflow of hydrocarbon mixtures.....	79
Митрофанов А. С., Сырбу С. А., Ульев Д. А. О результатах лабораторных испытаний некоторых механических свойств покрытий, применяющихся для защиты технологического оборудования от сероводородной коррозии.....	85
Mitrofanov A. S., Syrbu S. A., Uliev D. A. On the results of laboratory tests of some mechanical properties of coatings used to protect technological equipment from hydrogen sulfide corrosion.....	85
Салихова А. Х., Сырбу С. А., Циркина О. Г., Киселев М. Р. Влияние кремнийсодержащих добавок на эффективность огнезащитной обработки текстильных материалов.....	91
Salikhova A. H., Syrbu S. A., Tsirkina O. G., Kiselev M. R. Influence of silicon-containing additives on the effectiveness of flame retardant treatment of textile materials.....	91
Семенов А. Д., Сараев И. В., Бубнов А. Г. О возможности заправки пенобака пожарного автомобиля с использованием стационарного вакуумного насоса.....	100
Semenov A. D., Saraev I. V., Bubnov A. G. About the possibility of refueling the foam tank of a fire truck using a stationary vacuum pump.....	100
Сорокин Д. В., Никифоров А. Л., Егорова Н. Е., Ульяева С. Н. Моделирование теплозащитных свойств композиционного полимерного материала для боевой одежды пожарного.....	107
Sorokin D. V., Nikiforov A. L., Egorova N. E., Ulieva S. N. Modeling of heat-protective properties of composite polymer material for firefighter's combat clothing.....	107
Федосов С. В., Лазарев А. А., Торопова М. В., Маличенко В. Г., Цветков Д. Е. Определение основных параметров нагреваемого сегмента диска термочувствительного элемента специального строительного изделия для обнаружения пожара.....	115
Fedosov S. V., Lazarev A. A., Toropova M. V., Malichenko V. G., Tsvetkov D. E. Determination of the main parameters of the heated disk segment a thermosensitive element of a special construction products for fire detection.....	115
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ) WATER SUPPLY, SEWER SYSTEM, CONSTRUCTION SYSTEMS OF PROTECTION OF WATER RECOURSES (TECHNICAL)	
Натареев С. В., Захаров Д. Е., Семенов А. Ю., Аксюкова Н. Ю. Получение сорбента из биополимеров и его применение в системах водоснабжения в чрезвычайных ситуациях.....	123
Natareev S. V., Zakharov D. E., Semyonov A. U., Aksyukova N. Yu. Obtaining sorbent from biopolymers and using it in water supply systems in emergency situations.....	123
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ) BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)	
Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Осыко А. В., Шенберева А. В. Коррозия стальных элементов конструкций при повышении температуры.....	131
Rumyantseva V. E., Konovalova V. S., Osyko A. V., Shenberева A. V. Corrosion of steel structural elements with increasing temperature.....	131
Румянцева В. Е., Красильников И. В., Красильникова И. А., Строкин К. Б., Новикова У. А. Определение влияния вязкости насышающей жидкости на физико-механические характеристики цементного камня различной пористости.....	143
Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Krasilnikova I. A., Strokin K. B., Novikova U. A. Determination of the effect of the viscosity of the drying liquid on the physical and mechanical characteristics of cement stone of different porosity.....	143

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

УДК 378.14.015.62

**ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ МИРЕ**

С. В. ГОРИНОВА, Л. Б. ТИХАНОВСКАЯ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: s.v.gorinova@mail.ru, ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

В статье представлены результаты исследования проблем, связанных с адаптацией образовательных программ к изменяющимся требованиям внешней среды. Заинтересованность сторон, вовлеченных в образовательный процесс, определяет требования к системе оценивания результатов образования. Предложено рассматривать совместные интересы обучающихся, их ближнего окружения, научно-педагогического и руководящего состава образовательного учреждения, заказчиков образовательных услуг с позиции подготовки кадров к активной работе в новом BANI-мире. Для повышения адаптивности образовательных программ авторы разработали методику анализа индикаторной нагрузки, позволяющей координировать процесс формирования компетентности.

Ключевые слова: образовательные процессы, компетенции и компетентность в BANI-мире, индикаторная нагрузка в основной профессиональной образовательной программе, адаптация, приращение компетенций.

**FORMATION OF READINESS FOR PROFESSIONAL ACTIVITY
IN A CHANGING WORLD**

S. V. GORINOVA, 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: s.v.gorinova@mail.ru, ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

The article presents the results of a study of the problems associated with the adaptation of educational programs to the changing requirements of the external environment. The interest of the parties involved in the educational process determines the requirements for the system of evaluation of educational results. It is proposed to consider the joint interests of students, their immediate environment, the scientific, pedagogical and management staff of an educational institution, customers of educational services from the position of preparing personnel for active work in the new BANI world. To increase the adaptability of educational programs, the authors have developed a methodology for analyzing the indicator load, which allows coordinating the process of competence formation.

Key words: educational processes, competencies and competence in the BANI world, indicator load in the main professional educational program, adaptation, increment of competencies.

Изменения в современном мире происходят с все возрастающей скоростью. При этом затрагивают они практически все сферы человеческой деятельности: производствен-

ную, личную, общественную, коммуникационную. В большей степени меняется последняя, что определяет и возможности, и последствия развития современного общества. Цифровизация вторгается не только в деловую среду, где первоначально упрощала управленческие

функции, но и в человеческие отношения, изначально обеспечивая информационную свободу. Сейчас можно констатировать и иные непредсказуемые последствия этого процесса.

Стремительно устаревают информация, предсказанные тенденции актуальны на все более коротких сроках. Возрастает сложность принятия решений из-за больших объемов информации, из-за неочевидности связи между объектами и явлениями, из-за многоуровневости иерархией управляемых процессов. Существующая система образования ориентирована на стабильность базовых знаний о процессах и закономерностях их развития. Полученная в процессе обучения информация закладывается в навыки и умения. Но и сама информация теперь не столь однозначна: полученная из разных источников, она может быть противоречивой, преднамеренно искаженной, ложно интерпретированной. Многочисленные примеры неудач даже выпускников-отличников в период адаптации к профессиональной деятельности свидетельствуют об их неумении быстро реагировать на новые требования, на трансформирующуюся среду, скорость изменения которой все возрастает, а способность восприятия этих изменений не развита.

Современный специалист должен обладать гибким мышлением, постоянно развивать свои профессиональные навыки, быть готовым не только принимать инновации, но и развивать их, предугадывая потребности общества. Без должной подготовки, адекватного образования сложно будет добиться сколь-нибудь стоящего результата там, где возрастает глобальная нестабильность, ухудшается способность восприятия информации, ее анализа.

Как видим, слишком большие требования предъявляет изменяющийся мир. Приверженцы цифровой трансформации в 90-х годах прошлого века назвали такое состояние VUCA¹ миром. В нем квинтэссенция прогресса умножается на глобальную нестабильность, усугубляющуюся различиями мыслительных процессов разных поколений. В ответ на вызовы VUCA мира рекомендовалось повышение квалификации и компетенций, выработка склонности к анализу, привлечение профессионалов от системной аналитики, мониторинг отраслевых новостей. Принятая программа «Цифровая экономика Российской Федерации»² заявила

направления автоматизации образовательных учреждений для улучшения их информационного обеспечения. На первый план выдвинуты задачи создания онлайн-сервисов для преподавателей, обучающихся и абитуриентов. Образовательное пространство стало вновь изменяться в направлении обеспечения удаленного доступа участников и заинтересованных лиц в процессе обучения. Этот тренд ускорился в условиях пандемии. Многие учреждения, несмотря на некоторый опыт дистанционного обучения, испытали на себе все сложности внезапного, не вполне подготовленного перехода к новым условиям функционирования. Тем не менее за 2 года удалось сформировать некое образовательное пространство, адаптированное к новым требованиям.

Однако, как говорят футурологи, не успев приспособиться к этому VUCA миру, общество столкнулось с ещё более сложным и опасным миром – BANI³. На международном форуме «Будущее бизнес-образования в BANI-мире: тренды, проблемы, продукты» в 2021 году заместитель главы компании «СУЭК» Сергей Григорьев предлагал задаться вопросом: «как выявить в меняющихся условиях лидеров нового поколения управленцев и какие их навыки развивать и будет ли новое поколение рассматривать существующую экономическую модель как справедливую?»⁴.

Актуальность трансформации образовательной среды повышается, от нее ожидают подготовки человека к максимально быстрым действиям и реагированию на любые изменения в обществе. Однако проблема усугубляется тем, что образовательная система также стремительно изменяется: сменяют друг друга образовательные стандарты, вводятся и актуализируются профессиональные стандарты, утверждаются новые квалификационные требования, в образовательной среде возникает множество онлайн-программ образовательного характера, меняется соотношение разных компонентов в обучении, распространяется концепция LLL⁵.

<https://digital.ac.gov.ru/news/4965/> (дата обращения 22.05.2022)

³ Акроним BANI: Brittle, Anxious, Nonlinear, Incomprehensible — хрупкость, тревожность, нелинейность, непостижимость

⁴ Будущее бизнес-образования в BANI-мире: тренды, проблемы, продукты [Электронный ресурс]. <https://ibda.ranepa.ru/about/news/budushchee-biznes-obrazovaniya-v-bani-mire-trendy-problemy-produkty> (дата обращения: 19.05.2022).

⁵ long life learning - обучение на протяжении всей жизни

¹ Акроним VUCA: Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity — нестабильность, неопределённость, сложность и неоднозначность

² Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]:

Таким образом, новые вызовы открыли и новые возможности. Учитывая, что сковывающая свободу образования Болонская система уходит из российской практики, следует ожидать кардинальных прорывов и в сфере отечественного высшего профессионального образования.

Проведенное Милой Новиченковой исследование о возможностях россиян приспособиться к новому BANI-миру позволило выявить ряд особенностей:

- россияне характеризуют как неоднородную нацию людей прямолинейных и верных традициям. Им присущи активность и смекалка. Каждый второй числит себя позитивным. Миф о коллективизме нации в исследовании не подтвердился.

- VUCA-мир усилил в россиянах прямоту, традиционность, смекалку и потребность в «Великой Идее». Значительно снизилась пассивность.

- более комфортно в BANI-мире смекалистым и не пассивным людям, избегающим рисков, обладающим позитивным мышлением, традиционностью, навыками общения в неоднородной среде.

- BANI-мир предполагает появление реакций и решений по поводу выживания в мире тревоги и хаоса [2].

Для «нового мира» однозначно нужна новая образовательная парадигма, готовая к постоянному развитию, контролю и соответствующая новому миру, новым запросам, новым требованиям. В последнее десятилетие радикально изменился весь образовательный мир, но подходы к построению образовательных программ, к оценке эффективности обучения остались прежними. При этом образовательные организации вынуждены собирать огромные массивы персональной информации об обучающихся. Если правильно ее собирать, анализировать и использовать, можно добиться значительного улучшения образовательного процесса. Ранее нами предлагались инструменты визуализации профессионального профиля выпускника образовательного учреждения системы МЧС России [3], но они не учитывали новых требований гибкости в «хрупком, тревожном, нелинейном, непостижимом» мире с большими данными информационного пространства и новыми возможностями построения образовательного процесса. Сейчас на первое место среди элементов компетентности выходят адаптивность, мотивированность и уверенность, а лишь затем – знания, опыт, умения и навыки.

Проведенное исследование позволило сформировать укрупненную модель компетентности выпускника магистратуры по направлению подготовки «Государственное и муниципальное управление», основанную на экспертном оценивании минимальных значений уровня результатов освоения компетенций и мнения выпускников о своей подготовленности к профессиональной деятельности. Используемая методика построения такой модели предполагает привлечение в качестве экспертов представителей работодателей, профессорско-преподавательский состав и бывших выпускников магистратуры по данному направлению подготовки. Самооценка готовности была усреднена по выпускникам 2022 года. Укрупненная модель представлена на рис. 1. Как можно заметить выпускники достаточно высоко оценили свою подготовленность. При этом на низком уровне оказалась оценка таких элементов компетентности, как опыт, умения и уверенность. И это несмотря на то, что большинство обучающихся имели большой опыт практической деятельности. Очевидно, что программа подготовки требует корректировки в сторону усиления практической составляющей в реальном, а не виртуальном формате (из-за пандемических ограничений это было невозможно).

Следующим этапом исследования стал анализ процессов приращения компетенций. Именно приращение может свидетельствовать об эффективности работы всей образовательной системы. Внимание на конечный результат подготовки обучающегося неизбежно приводит к необходимости реорганизации процесса обучения в первую очередь в части содержания, а затем и в части привлекаемых технологий. Эффективность функционирования сложной системы обеспечения и поддержания профессиональной готовности, в конечном итоге зависит от набора системообразующих элементов, позволяющих в заданных условиях реализовать поставленные цели.

Методика исследования процессов приращения компетенций в условиях цифровизации образовательной среды базируется на обработке данных планирующей документации в совокупности с материалами, полученными из электронных журналов и портфолио обучающихся. Для первой части методики ключевое значение придавалось зачетной единице (ЗЕ), как мере ресурсоемкости в образовательной программе.

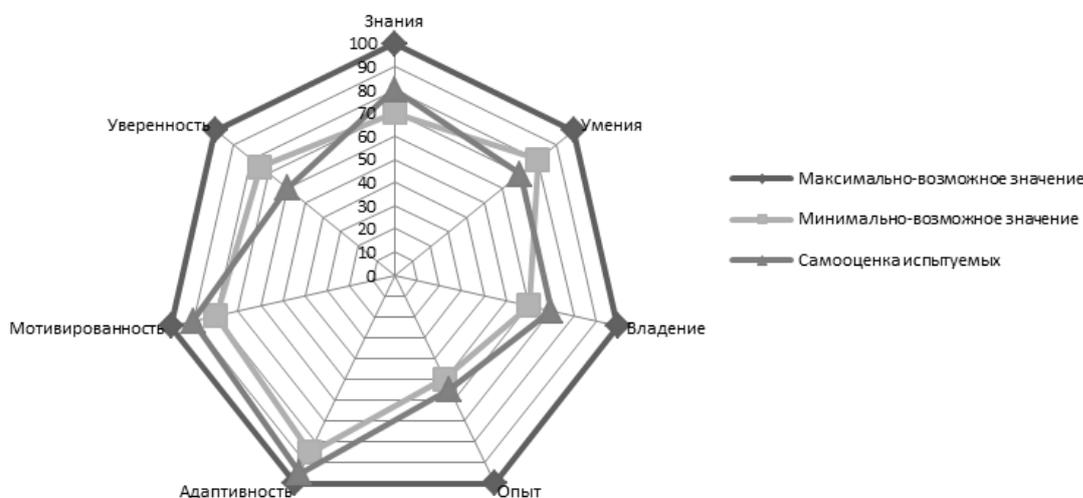


Рис. 1. Укрупненная модель компетентности выпускника

Рассмотрим для примера индикаторную нагрузку на дисциплины, реализующие универсальную компетенцию в категории «Системное и критическое мышление» УК-1 «Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий» в рамках основной профессиональной образовательной программы «Организация управления в РСЧС» направления подготовки магистра «Государственное и муниципальное управление», осуществляемой в Ивановской пожарно-спасательной академии. Согласно учебному плану достижение данной компетенции оценивается по 5 индикаторам, 2 из которых можно считать ключевыми для подготовки современного креативного специалиста. Расчет индикаторной нагрузки несложен, но он позволяет скорректировать при необходимости образовательную программу, усиливая требования и трудоемкость освоения дисциплин и практик. Приняв за исходный документ матрицу компетенций и учебный план определим число индикаторов, заявленных для каждого индикатора. Как оказалось их количество варьируется от 3 до 19. Здесь не принимались во внимание данные по государственной итоговой аттестации, поскольку она предназначена для оценивания уже приобретенных компетенций. Вклад каждой дисциплины в формирование индикатора варьируется от 0,2 до 1 зачетной единицы.

В анализируемом учебном плане сравнивалась и индикаторная нагрузка по всем дисциплинам и практикам. Общее количество индикаторов, приходящихся на каждую позицию плана, может свидетельствовать о роли дисциплины в формировании компетенций, а расстановка дисциплин по периодам обучения – о запланированной траектории приращения компетенций. На этом этапе выявляются «раз-

рывы» и «узкие места» в плане образовательного процесса. В нашем примере потребовалась перестановка дисциплин, реализующих профессиональные компетенции. В целом такой анализ может привести к исключению дисциплин, дублирующих по своему содержанию образовательные итоги или дополнению образовательной программы дисциплинами и практиками в соответствии с изменяющимися целями подготовки.

В табл. 1 представлен пример анализа, из которого видно, что на долю ключевых индикаторов освоения данной компетенции приходится более 67 % трудоемкости.

Во второй части анализа оценивается степень достижения индикаторов на основании фиксируемых результатов обучения. Инструменты оценивания могут быть различными, но шкала оценивания должна быть единой. Сегодня функция оценивания многогранна. Она не сводится лишь к выявлению успешности а, прежде всего, обеспечивает критический анализ всего образовательного процесса, способствует его корректировке и быстрой адаптации. Речь идет не столько о развитии средств оценивания, сколько о достижении целей оценивания. Меняется и философия оценочной деятельности. Оценивание становится не фиксацией итогов, а «точкой» за которой следует новый виток развития [1]. Главная задача этой процедуры состоит в улучшении качества труда конкретных участников образовательного процесса, направленного на достижение более глобальных целей – улучшение результатов и условий обучения, образовательных программ и, в конечном счете, достижение нового качества образовательного учреждения в целом. Таким образом, оценивание интерпретируется как элемент технологии обучения и как конструктивная обратная связь.

Таблица 1. Анализ индикаторной нагрузки

Индикаторы достижения компетенций	Дисциплины	Индикаторов на одну дисциплину	ЗЕ на один индикатор в дисциплине	ЗЕ на один индикатор
УК 1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	Б1.О.02	19	0,2	4,28
	Б1.О.03	10	0,4	
	Б1.О.10	6	0,7	
	Б1.О.12	9	1	
	Б1.В.01	5	1	
УК 1.2 Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению	Б1.О.02	19	0,21	0,94
	Б1.О.03	10	0,4	
	Б1.О.12	9	0,33	
УК 1.3 Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников	Б1.О.02	19	0,21	2,61
	Б1.О.03	10	0,4	
	Б1.О.10	6	0,67	
	Б1.О.12	9	0,33	
УК 1.4 Разрабатывает и содержательно аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарного подходов	Б1.О.02	19	0,21	1,61
	Б1.О.03	10	0,4	
	Б1.О.10	6	0,67	
	Б1.О.12	9	0,33	
УК 1.5 Использует логико-методологический инструментарий для критической оценки современных концепций философского и социального характера в своей предметной области	Б1.О.02	19	0,21	0,77
	Б1.В.01	9	0,56	
Итого по УК-1				10,2
Доля ЗЕ по критическим индикаторам (индикаторная нагрузка)				0,675

Предложено распределить оценочные дескрипторы уровня освоения компетенций по признаку подготовленности обучаемого к успешному профессиональному развитию в BANI – мире на критичные, некритичные и результативные. Критичные компетенции позволяют обучаемому оперативно перестраиваться в случае изменения условий деятельности, некритичные компетенции формируют у людей те навыки, знания и умения, которые необходимы для самой профессиональной деятельности в стабильных условиях и результативные компетенции определяют уровень успешности обучаемого в избранной профессиональной деятельности.

В нашем примере в качестве критичных компетенций экспертами были выбраны:

УК-1 – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий;

УК-4 – Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия;

УК-6 – Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки;

ПК-9 – Способен осуществлять научно-техническое обеспечение и руководить научными исследованиями в области обеспечения безопасности, проводить анализ их результатов, подготовку данных для составления научных обзоров, отчетов и научных публикаций.

Для каждого вида компетенций было проведено исследование уровня освоенности по индикаторам в «коридоре» значений. Графически модель можно наглядно представить в виде 3-х лепестковых диаграмм. Внешний контур отражает максимально-возможные, по мнению экспертов, значения оценок, внутренний контур – минимально-возможные значения, оставшийся контур – средняя самооценка выпускников. На рис. 2 показано, что в группе критически-значимых для профессионального развития в BANI-мире самооценка способности осуществлять научно-техническое обеспечение и руководить научными исследованиями в области обеспечения безопасности, проводить

анализ их результатов, подготовку данных для составления научных обзоров, отчетов и научных публикаций находится значительно ниже минимального значения. Из этого следует вывод о необходимости усиления подготовки за счет перегруппирования трудоемкости дисциплин и включения в некоторые из них тематических блоков для освоения навыков научно-технического обеспечения и руководства научными исследованиями в области обеспечения безопасности.

На рис. 3 представлена модель освоения не критичных для БANI-мира компетенций. Как видим, большая часть из них относится к блокам общепрофессиональных и профессиональных компетенций. Традиционно именно им уделяется наибольшее внимание в вузовской подготовке. Однако, как отмечалось ранее, они легко накапливаются в ходе практической деятельности. Тем не менее, следует заметить, что треть компетенций этого вида освоена обучающимися на минимально-возможном уровне. Это является сигналом для корректировки внутри процесса освоения дисциплин за счет изменения рабочих программ.

На рис. 4 отражена модель освоения профессионально-результативных компетенций. Как видим, самооценка выпускника практически не выходит за рамки «коридора». Это частично свидетельствует о сбалансированности анализируемой образовательной программы с точки зрения ее практико-ориентированности.

Представленный пример достаточно нагляден, но он отражает упрощенный взгляд на систему оценивания как уровня освоения компетенций, так и характера их приращения в ходе образовательного процесса. С позиции обеспечения адекватного контроля имеет смысл применить классификацию О. В. Барышниковой [2] в отношении функций контроля, предложившей рассматривать диагностическую функцию для оценки исходного уровня овладения теоретическим материалом; управляющую – для отслеживания приращения компетенций в ходе прохождения отдельных этапов обучения и непосредственно оценочную для качественного и эффективного измерения степени подготовленности обучающихся к деятельности в конкретных условиях внешней среды.

С этой позиции следует отметить изменение заинтересованности участников образовательного процесса в результатах оценивания.

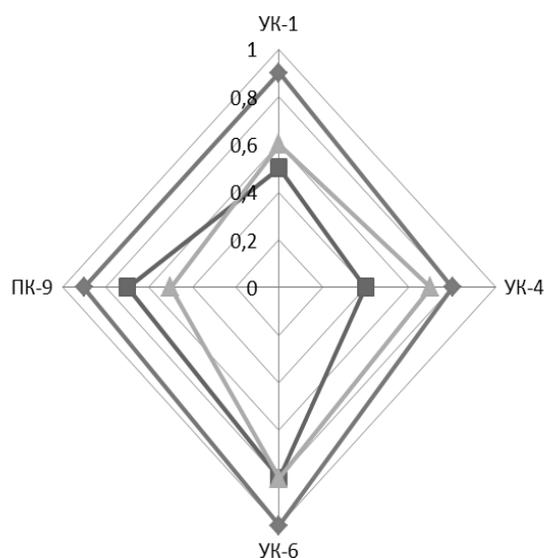


Рис. 2. Графическая модель освоения критически-значимых для БANI-мира компетенций

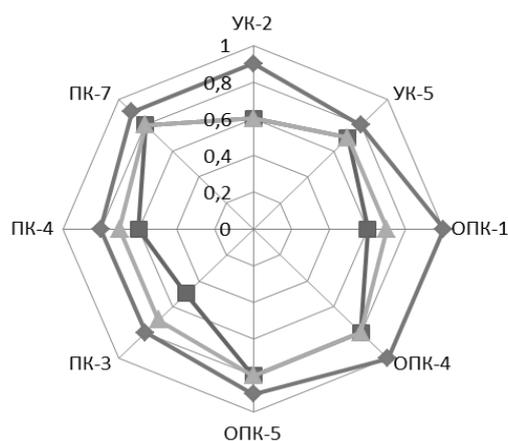


Рис. 3. Графическая модель освоения не критичных для БANI-мира компетенций

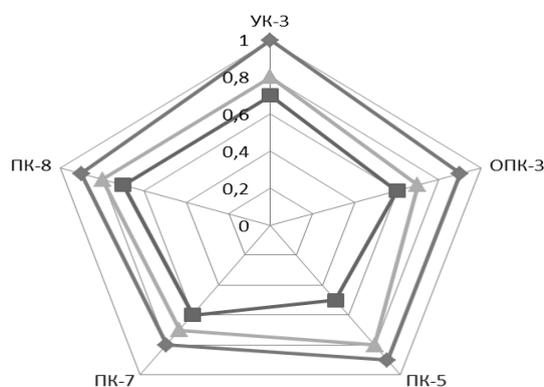


Рис. 4. Графическая модель освоения профессионально-результативных компетенций

Таблица 2. Изменение интересов сторон, вовлеченных в образовательные процессы

Цели оценочных процедур	Интересы сторон, вовлеченных в образовательные процессы			
	Обучающиеся	Семья	Образовательное учреждение	Работодатели /заказчики
Диагностика				
Коррекция процесса обучения				
Оценка подготовленности				

Рассмотренный нами ранее деятельностный характер компетенций как совокупности структурных элементов (или индикаторов оценивания), которые раскрывают и уточняют формулировку компетенций через конкретные действия, к которым готовится выпускник, стоит внимательнее подходить к формулировкам и ориентироваться на постоянное изменение условий внешней среды. Индикаторы достижения компетенций подлежат экспертной проработке с последующим подробным анализом состава и содержания учебных дисциплин, практик и других элементов программы в соотношении их с профессиональным стандартом и квалификационными требованиями работодателя. Требование измеримости индикаторов наряду с достаточностью причисляется к самым трудно выполняемым⁶.

Формирование основной профессиональной образовательной программы на весь

период обучения становится малоэффективным. Как сказано в паспорте федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» «с учетом быстроты меняющегося ландшафта и требований к знаниям специалистов, содержание многих программ высшего образования устаревает еще до момента их окончания»⁷. Вопросы профессиональной подготовки становятся не столь однозначными, когда формирование компетенций происходит под воздействием изменяющихся требований внешней среды. Её непостоянство снимает границы профильности, требует от обучающихся готовности расширять рамки своей профессиональной предназначенности путем восприятия новых источников знания, поиска инструментов преобразования его в навыки и умения для будущей профессии.

Список литературы

1. Новиченкова Мила. Культурный профиль россиян. Путь от мира VUCA к миру BANI // Flair Russia 2022. С. 12–25. <https://www.ipsos.com/ru-ru/flair-russia/kulturnyy-profil-rossiyan-put-ot-mira-vuca-k-miru-bani> (дата обращения: 19.05.2022).

2. Барышникова О. В. Итоговый контроль профессионально ориентированной подготовки по иностранному языку в бакалавриате неязыкового вуза // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Серия: Образование и педагогические науки. 2017. Вып. 4 (775). С. 173–183.

References

1. Novichenkova Mila. Kulturnyi profil rossiyani. Put ot mira VUCA k miru BANI [Cultural profile of Russians. The path from the world of VUCA to the world of BANI]. *Flair Russia 2022*, pp. 12–25. <https://www.ipsos.com/ru-ru/flair-russia/kulturnyy-profil-rossiyan-put-ot-mira-vuca-k-miru-bani> (data obrascheniya: 19.05.2022).

2. Baryshnikova O. V. Itogovyi kontrol professionalno orientirovannoi podgotovki po inostrannomu yazyku v bakalavriate neyazykovogo vuza [Final control of professionally oriented training in a foreign language in the bachelor's program of a non-linguistic university]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta. Seriya: Obrazovanie i pedagogicheskie nauki*, 2017, vol. 4 (775). pp. 173–183.

⁶ Бершадская М. Д., Серова А. Н. Универсальные компетенции: индикаторы, опыт разработки и оценивания // Научно-методическая конференция ассоциации классических университетов, 23 мая 2018. <https://social.hse.ru/data/2018/06/01/1150192968> (дата обращения: 19.05.2022).

⁷ Паспорт федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» (утв. президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, протокол от 28.05.2019 № 9).

Горина Светлана Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры основ экономики функционирования РСЧС
E-mail: s.v.gorinova@mail.ru

Gorinova Svetlana Vladimirovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of economic sciences, Professor,
professor at the department of fundamentals of economics of functioning prevention and response system
E-mail: s.v.gorinova@mail.ru

Тихановская Людмила Борисовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС
E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

Tihanovskaya 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 technics sciences, assistant professor,
associate professor at the department of fundamentals of economics of functioning prevention and response system
E-mail: ludmila.tihanovskaya@yandex.ru

УДК 614.89

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ

Б. Б. ГРИНЧЕНКО¹, Д. В. ТАРАКАНОВ², Д. Н. ШАЛЯВИН¹, В. К. ТИМОШЕНКО¹

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

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

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru, den-pgs@yandex.ru,
sharap1897@rambler.ru, vadik46_8@inbox.ru

В процессе тушения пожара используют современные средства обеспечения безопасности личного состава пожарно-спасательных подразделений, к которым относятся дыхательные аппараты со сжатым воздухом, оснащенные системой дистанционного мониторинга. Такая система в режиме реального времени позволяет получать, обрабатывать и передавать информацию о параметрах работы пожарных в непригодной для дыхания среде. Данная информация в соответствующей процедуре принятия управленческих решений повышает уровень безопасности пожарных за счет автоматизации функций управления. Внедрение систем мониторинга и новых процедур поддержки решений в практическую работу пожарно-спасательных подразделений требует внесения изменений в концепцию управления безопасностью участников тушения пожара. На практике применение результатов мониторинга обуславливает необходимость количественной оценки рисков отказа, как системы дистанционного мониторинга, так и элементов системы принятия решений.

В работе предложена модель и на абстрактном примере выполнено численное моделирование вероятности отказа в системе дистанционного мониторинга параметров безопасной работы газодымозащитников.

Ключевые слова: модель надежности, дыхательный аппарат, система дистанционного мониторинга, вероятность отказа.

RELIABILITY MODEL OF REMOTE MONITORING SYSTEM SAFETY PARAMETERS FIREFIGHTERS

B. B. GRINCHENKO¹, D. V. TARAKANOV², D. N. SHALYAVIN¹, V. K. TYMOSHENKO¹

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

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

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru, den-pgs@yandex.ru,
sharap1897@rambler.ru, vadik46_8@inbox.ru

In the process of extinguishing a fire, modern means of ensuring the safety of personnel of fire and rescue departments are used, which include self-contained breathing apparatus (SCBA), equipped with a remote monitoring system. Such a system in real time allows you to receive, process and transmit information about the parameters of the work of firefighters in an unbreathable environment. This information in the appropriate management decision-making procedure improves the safety of firefighters by automating management functions. The introduction of monitoring systems and new decision support procedures into the practical work of fire and rescue units requires changes to the concept of managing the safety of fire ex-

tinguishers. In practice, the application of monitoring results necessitates a quantitative assessment of the risks of failure of both the remote monitoring system and the elements of the decision-making system.

The paper proposes a model and, using an abstract example, numerically simulates the probability of failure in the system for remote monitoring of the parameters of the safe operation of firefighters.

Key words: reliability model, SCBA, remote monitoring system, probability of failure.

Введение

Основным мировым направлением повышения безопасности работы в непригодной для дыхания среде (НДС) является совершенствование системы дистанционного мониторинга современных дыхательных аппаратов^{1,2} [1,2]. В состав такой системы, как правило, входит: различные датчики контроля, приемо-передающие устройства, блок управления. При этом элементы системы мониторинга направлены на повышение уровня безопасности, как самого пользователя (газодымозащитника), так и степень информационного обеспечения контролирующего поста, в режиме реального времени. Повышение уровня информационного обеспечения обуславливается наличием оперативной передачи и обработки данных о внутреннем состоянии пользователя, состоянии окружающей среды, а также оповещении в случае нештатной ситуации [3,4]. Так как работа производится в условиях пожара, к элементам системы мониторинга предъявляются определенные требования надежности, под которыми понимается способность системы сохранять свои свойства (безотказность, восстанавливаемость, защищенность и др.) на заданном уровне в течение фиксированного промежутка времени при определенных условиях в процессе эксплуатации. При этом системы дистанционного мониторинга должны обеспечить выполнение следующих минимальных функций³:

– определение и индикацию в цифровом формате величины давления воздуха в баллоне аппарата;

– определение и индикацию показателя работоспособности газодымозащитника;

– расчет и индикацию в цифровом формате величин оставшегося времени работы;

– передачу в ручном и автоматическом режиме различных видов сигналов при нахождении пользователя без движения за определенный промежуток времени;

– прием сигналов с внешней приемопередающей аппаратуры.

Исходя из этого, мониторинг параметров безопасной работы участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде в системах телеметрии дыхательных аппаратов в зависимости от способа управления и обработки данных условно можно разделить на следующие виды:

1. Автоматический мониторинг параметров безопасной работы подразделяется на автономный или частично автономный, в зависимости от технической составляющей.

1.1. Автономный мониторинг позволяет одновременно производить необходимый комплекс расчетов, по определению параметров безопасной работы газодымозащитника с учетом выполняемых режимов работы с последующей передачей информации в режиме реального времени на контролирующий пост^{4,5,6}. Такой подход обеспечивает устойчивую связь между объектом управления (звеном ГДЗС) и субъектом управления (лицом, принимающим решение) [5].

1.2. Частично автономный мониторинг служит либо для передачи информации (дублирование на контролирующий пост), либо для выполнения комплекса расчетов параметров

¹ FireGrid [Электронный ресурс]. URL: <https://us.msasafety.com/Connected-Firefighter/FireGrid/FireGrid/p/000170000100001001>.

² Информационно-аналитические материалы по итогам XII международного салона средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность 2019» // Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2019. 251 с. [Электронный ресурс] URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/3044> (дата обращения 10.03.2022).

³ ГОСТ Р 53255-2019. Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний.

⁴ Пожарная телеметрическая система Dräger PSS® Merlin [Электронный ресурс]. URL: https://www.draeger.com/ru_ru/Products/PSS-Merlin-System (дата обращения 10.03.2022).

⁵ ПТС «Светофор» [Электронный ресурс]. URL: https://pto-pts.ru/dykhatelnye-apparaty-so-szhatym-vozdukhom/tproduct/339569481_741248865915-pts-svetofor (дата обращения 10.03.2022).

⁶ Руководство по эксплуатации комплекс «Маяк спасателя» СПНК.425624.013 РЭ Ред.1.3. Санкт-Петербург, 2011. 36 с.

безопасной работы, которые будут доступны только газодымозащитнику⁷.

2. Ручной мониторинг параметров безопасной работы подразделяется на ручной расчет данных и автоматизированный расчет данных.

2.1 Ручной расчет данных выражен методикой определения параметров безопасной работы в дыхательных аппаратах, которая реализуется вручную постовым на посту безопасности (ПБ) с возможностью применения различных вспомогательных средств (таблиц, расчетных устройств, экспанометров и др.) [6,7,8]. При этом передача данных осуществляется по средствам радиостанций.

2.2. Автоматизированный расчет данных также производится ПБ, который реализован в виде множества различных программ калькуляторов, которые возможно применять как на портативных компьютерах⁸, так и в приложениях на мобильные устройства⁹.

Общая классификация способов мониторинга, предлагаемых авторами, представлена на рис. 1.

Однако все эти подходы в системе мониторинга направлены на контроль параметров безопасной работы газодымозащитника без учета оценки риска отказа в процессе функционирования самой системы под воздействием опасных факторов пожара. Для того что бы определить технические требования, предъявляемые к системам мониторинга, необходимо оценить вероятность отказа элементов данной системы, а также определить возможные последствия, возникающие в ходе этого отказа.

Для количественной оценки возникновения отказов при работе системы мониторинга необходим выбор математической модели, которая на количественном уровне позволит обсудить вопросы безотказной работы системы мониторинга в различных способах функционирования.

Цель исследования – разработка модели для оценки риска отказа средств обработки данных системы дистанционного мониторинга параметров безопасной работы газодымозащитников.

⁷ Калькулятор ГДЗС [Электронный ресурс]. URL: <https://fireman.club/kalkulyator-gdzs/> (дата обращения 10.03.2022).

⁸ Мартинович Н. В. и др. Справочник начальника караула пожарно-спасательной части. 2020.

⁹ Персональная система телеметрии Dräger Bodyguard 1500 [Электронный ресурс]. URL: https://www.draeger.com/ru_ru/Products/Bodyguard-1500 (дата обращения 10.03.2022).

Методика и организация исследования.

При выборе методики для оценки вероятности отказа системы мониторинга разделим ее на два составляющих элемента (рис. 2): основная система – дыхательный аппарат; второстепенная система с набором датчиков и средство обработки данных – системы дистанционного мониторинга (телеметрии).

Исходя из рис. 2, возникает два условия оценки вероятности отказа элементов системы мониторинга:

1. Оценка вероятности выхода из строя дыхательного аппарата (основной системы);

2. Оценка вероятности отказа системы дистанционного мониторинга (второстепенной системы).

Для решения данных задач необходимо разработать математическую модель, которая будет использоваться для прогнозирования значений надежностных характеристик дыхательного аппарата и системы мониторинга.

Результаты исследования и их обсуждение.

В практике прогнозирования надежностных характеристик технических систем применению математическую модель Эрланга с восстановлением и без него. В первом случае у дыхательного аппарата восстановление отсутствует, так как в условиях воздействия опасных факторов пожара в непригодной для дыхания среде в случае его отказа у газодымозащитников отсутствует возможность его ремонта, поэтому для оценки вероятностей воспользуемся системой уравнений Эрланга, которая записывается в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_{2;0}(t)}{dt} = -\lambda P_{2;0}(t); \\ \frac{dP_{2;1}(t)}{dt} = \lambda P_{2;0}(t) - \lambda P_{2;1}(t); \\ \frac{dP_{2;2}(t)}{dt} = \lambda P_{2;1}(t); \\ P_{2;0}(t) + P_{2;1}(t) + P_{2;2}(t) = 1. \end{array} \right. , \quad (1)$$

где: $P_{2;0}$ – вероятность состояния системы телеметрии, при котором в исправности находятся все средства измерения;

$P_{2;1}$ – вероятность состояния системы телеметрии, при котором отказало хотя бы одно средство измерения;

$P_{2;2}$ – вероятность состояния системы телеметрии, при котором отказали 2 средства измерения.

Начальные условия $P_{2,0}(t=0)=1$, $P_{2,k}(t=0)=0$, $K_j = 1,2$, λ – интенсивность отказа, мин^{-1} .

Система уравнений (1) записана с индексом 2 для случая звена из двух газодымозащитников (2 дыхательных аппарата).

Во втором случае задача оценки надежности системы телеметрии заключается в определении вероятности отказа средств

обработки данных, получаемых от средств мониторинга параметров безопасности газодымозащитников при заданной интенсивности восстановления – μ (мин^{-1}), обычно ее рассматривают через безразмерный показатель

$$\alpha = \frac{\mu}{\lambda}.$$

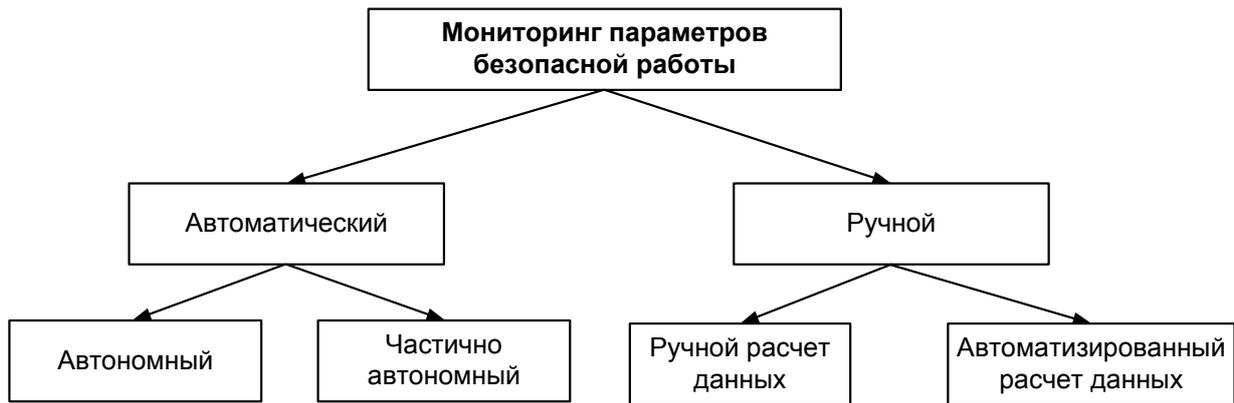


Рис. 1. Классификация систем дистанционного мониторинга по способу управления и обработки данных

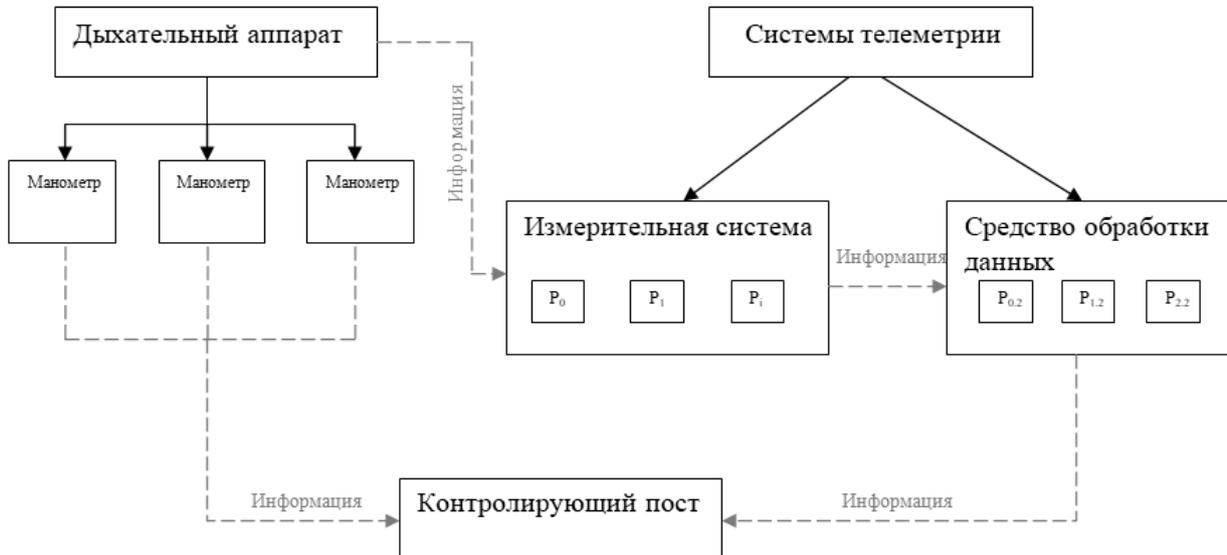


Рис. 2. Схема передачи информации системой мониторинга на контролирующий пост

При условии, если к одному портативному компьютеру (блоку управления) подключены два устройства измерения (от двух дыхательных аппаратов газодымозащитников) и передачи информации, система уравнений будет записываться следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{dP_{2,0}(t)}{dt} = -\lambda P_{i,0}(t) + \lambda \alpha P_{i,1}(t); \\ \frac{dP_{2,1}(t)}{dt} = -\lambda P_{i,1}(t) - \lambda \alpha P_{i,1}(t) + \lambda P_{i,0}(t) + \lambda \alpha P_{i,2}(t); \\ \frac{dP_{2,2}(t)}{dt} = -\lambda \alpha P_{i,2}(t) + \lambda P_{i,2}(t); \\ P_{2,0}(t) + P_{2,1}(t) + P_{2,2}(t) = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Начальные условия, аналогичны системе уравнений (1).

Модели надежности для дыхательного аппарата и системы телеметрии это модели одного класса (модели Эрланга), так при $\alpha=0$, система уравнений (2) трансформируется в систему уравнений (1).

С целью графической интерпретации расчета построим графики функций вероятностей состояний для следующих исходных данных $\lambda=0,1 \text{ мин}^{-1}$ и $\mu=0,05 \text{ мин}^{-1}$, $t=35 \text{ мин}$ (рис. 3).

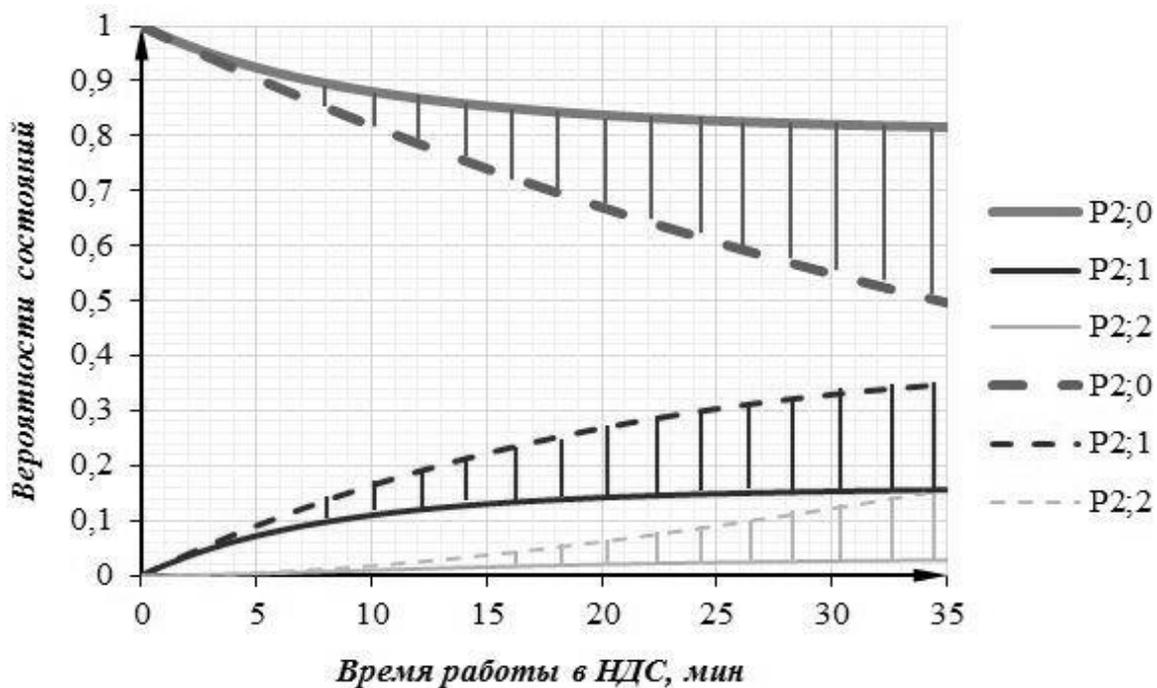


Рис. 3. Оценка вероятности отказа средств обработки данных
пунктирная линия модель(1); сплошная линия модель(2)

Анализируя данные, представленные на рис. 3, можно сделать вывод, что наличие параметра восстановления измерительной системы μ , дает некоторую свободу при назначении требуемых параметров надежности системы мониторинга в сравнении с дыхательным аппаратом (заштрихованные области на рис. 3). Исходя из предложенных моделей, очевидно, что если применять к системе дистанционного мониторинга параметров безопасности, те же требования по надежности как к средству защиты (дыхательному аппарату), то это приведет к необоснованному завышению. Так обеспечение требуемых показателей надежности системы мониторинга (таких же, как для дыхательного аппарата) суще-

ственно влияет на себестоимость изготавливаемых элементов системы и общая стоимость системы мониторинга (второстепенной системы) в несколько раз превышает стоимость дыхательного аппарата (основной системы), что делает экономически не целесообразным ее применение.

По мнению авторов, надежность характеристики системы мониторинга должны быть ниже по сравнению с аналогичными показателями дыхательного аппарата, однако, в этом случае при оценке надежности системы мониторинга должно быть добавлено условие, состоящее в том, что ее отказ никак не должен повлиять на работоспособность и надежность основной системы – дыхательного аппарата.

Тогда в случае отказа системы мониторинга, наблюдение за параметрами работы в НДС не прекращается, а контролирующий пост безопасности переходит на ручной режим работы,

то есть на принятие решений по данным манометра дыхательного аппарата, которые могут быть получены от звена посредством радиостанции.

Список литературы

1. Gu S., Panindre P. An Analysis of Firefighter Breathing Air Replenishment Systems. 2021, 69 p.

2. Tayeh G. B. [et al.] A Personal LPWAN Remote Monitoring System. 2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). IEEE, 2021, pp. 80–85.

3. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610223. Программное средство для расчета параметров работы звеньев газодымозащитной службы на пожарах / В. В. Теребнев, А. Б. Гордеев, Д. В. Тараканов [и др.]; заявл. 17.11.2014; опублик. 20.02.2015 г.

4. Шалыavin Д. Н. [и др.] Методика формирования безопасных режимов работы газодымозащитников с учетом мониторинга пульсовых зон // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. №. 4. С. 251–272.

5. Гринченко Б. Б., Топольский Н. Г., Тараканов Д. В. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде // *Пожаровзрывобезопасность*. 2019. Т. 28. № 5. С. 51–58.

6. Самсонов Н. В., Долгов П. В., Солдаткин С. А. Круговое расчетное устройство газодымозащитника «КРУГ-4» // «Есть идея!»: сборник материалов XI Международного салона средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность – 2018». М.: ФГБУ ВНИИПО, 2018. С. 293–296.

7. Патент RU 2674278 C1 Российская Федерация МПК А 61 В 5/00. Способ расчёта параметров работы в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и устройство для его реализации (варианты) / Н. В. Самсонов; опублик. 06.12.2018, Бюл. № 34.

8. Самсонов Н. «КРУГ» для пожарных // *Пожарное дело*. 2019. №. 9. С. 52–53.

2. Tayeh G. B. [et al.] A Personal LPWAN Remote Monitoring System. 2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). IEEE, 2021, pp. 80–85.

3. Теребнев В. В., Гордеев А. Б., Тараканов Д. В. [et al.] Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610223. Программное средство для расчета параметров работы звеньев газодымозащитной службы на пожарах [Software tool for calculating the parameters of the gas and smoke protection service units on fires], заявл. 17.11.2014, опублик. 20.02.2015 г.

4. Shalyavin D. N. [et al.] Metodika formirovaniya bezopasnykh rezhimov raboty gazodimozashchitnikov s uchetom monitoringa pul'sovykh zon [Methodology for the formation of safe operating modes of gas and smoke protectors, taking into account the monitoring of pulse zones] // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13. issue 4. pp. 251–272.

5. Grinchenko B. B., Topol'skiy N. G., Tarakanov D. V. Informatsionnyye resursy podderzhki upravleniya bezopasnost'yu rabot v neprigodnoy dlya dykhaniya srede [Information Resources to Support Safety Management in Unbreathable Environments]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2019, vol. 28. issue 5. pp. 51–58.

6. Samsonov N. V., Dolgov P. V., Soldatkin S. A. Krugovoye raschetnoye ustroystvo gazodimozashchitnika «KRUG-4» [Circular calculation device of the gas and smoke protector «KRUG-4»]. *Sbornik materialov «Yes't' ideya!» XI Mezhdunarodnogo salona sredstv obespecheniya bezopasnosti «Kompleksnaya bezopasnost' – 2018»*. pp. 293–296.

7. Samsonov N. V. Sposob raschota parametrov raboty v sredstvakh individual'noy zashchity organov dykhaniya i ustroystvo dlya yego realizatsii (varianty) [Method for calculating the parameters of work in personal respiratory protection equipment and a device for its implementation (options)], Patent RU 2674278 C1 Rossiyskaya Federatsiya MPK A 61 B 5/00. опублик. 06.12.2018, Бюл. № 34

8. Samsonov N. «KRUG» dlya pozharnykh [«CIRCLE» for firefighters] // *Pozharnoye delo*, 2019, issue 9, pp. 52–53.

References

1. Gu S., Panindre P. An Analysis of Firefighter Breathing Air Replenishment Systems. 2021, 69 p.

Гринченко Борис Борисович

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

Grinchenko Boris Borisovich

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

Тараканов Денис Вячеславович

Академия ГПС МЧС России, Российская Федерация,
Российская Федерация, г. Москва
доктор технических наук, профессор кафедры
E-mail: den-pgs@yandex.ru

Denis Tarakanov Vyacheslavovich

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

Шалыгин Денис Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт
E-mail: sharap1897@rambler.ru

Shalyavin 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
postgraduate student
E-mail: sharap1897@rambler.ru

Тимошенко Вадим Константинович

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

E-mail: vadik46_8@inbox.ru

Tymoshenko Vadim Konstantinovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Magister
E-mail: vadik46_8@inbox.ru

УДК 351.862

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗВЕСТНОГО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА КОМПЛЕКТОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

Е. Б. КОНДРАТЬЕВ, А. И. МАЗАНИК, А. Г. ФРАЙДЕНБЕРГ, К. К. КАИРБЕКОВ

Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

E-mail: agz@amchs.ru, al.maza@mail.ru, freidenberg@inbox.ru, Kenesar25.07@mail.ru

В статье проанализирован известный научно-методический аппарат и оценена возможность его использования для определения должностей специальных формирований гражданской обороны, которые целесообразно укомплектовать гражданами, пребывающими в запасе, по контракту. Показано, что известный научно-методический аппарат может составить некоторую основу для выбора рационального варианта комплектования специальных формирований гражданской обороны, в то же время не позволяет учесть ряд факторов, оказывающих значимое влияние на уровень готовности специальных формирований гражданской обороны.

Ключевые слова: управление, защита населения, резервист, специальные формирования гражданской обороны, подготовка, научно-методический аппарат.

ANALYSIS OF THE WELL-KNOWN SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPARATUS AND ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF ITS USE TO SUBSTANTIATE THE RATIONAL OPTION OF RECRUITING SPECIAL CIVIL DEFENSE FORMATIONS

E. B. KONDRATIEV, A. I. MAZANIK, A. G. FREIDENBERG, K. K. KAIRBEKOV

Academy of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Khimki

E-mail: agz@amchs.ru, al.maza@mail.ru, freidenberg@inbox.ru, Kenesar25.07@mail.ru

The article analyzes the well-known scientific and methodological apparatus and evaluates the possibility of using it to determine the positions of special civil defense formations, which it is advisable to equip with citizens who are in reserve, under a contract. It is shown that the well-known scientific and methodological apparatus can form some basis for choosing a rational option for recruiting special civil defense formations, at the same time it does not allow taking into account a number of factors that have a significant impact on the level of readiness of special civil defense formations.

Key words: control, protection of the population, reservist, special formations of civil defense, training, scientific and methodological apparatus.

Согласно Федеральному закону Российской Федерации (далее – РФ) «О мобилизационной подготовке и мобилизации в РФ»¹ под мобилизацией понимается комплекс мероприятий по переводу экономики, экономики субъектов и экономики муниципальных обра-

зований, переводу органов государственной власти, органов местного самоуправления и организаций на работу в условиях военного времени, переводу Вооруженных Сил, других войск, воинских формирований, органов и специальных формирований на организацию и состав военного времени.

В соответствии с Указом Президента РФ «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны на период до 2030 го-

© Кондратьев Е. Б., Мазаник А. И., Фрайденберг А. Г., Каирбеков К. К., 2022

¹ Федеральный закон № 31-ФЗ РФ «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» от 26 февраля 1997 года, С. 2.

да»² предусмотрено мобилизационное развертывание на военное время специальных формирований гражданской обороны (далее – СФГО), которые создаются на базе территориальных органов МЧС России и предназначены для выполнения задач гражданской обороны.

Обзор нормативно-правового акта³ и проведенных ранее исследований [1, 9, 10] показал, что своевременное и качественное выполнение этих задач в существенной мере определяется уровнем готовности личного состава СФГО. Готовность личного состава СФГО к выполнению задач по предназначению зависит от уровня начальной подготовки граждан, пребывающих в запасе и организации процесса подготовки в ходе боевого слаживания (далее – БС). Но фактически при высокой организации подготовки личного состава в ходе БС недостаточный уровень начальной подготовки не позволяет обеспечить требуемую готовность к выполнению задач по предназначению.

О недостаточном начальном уровне подготовки граждан, пребывающих в запасе (далее – ГПЗ), свидетельствуют результаты экспертного опроса должностных лиц отделов организации мобилизационной подготовки и мобилизации главных управлений МЧС России по субъектам РФ [1]. По результатам входного контроля граждан, прибывающих из запаса, была определена доля нормативов, выполняемых ими за заданное время, которая не превысила 50 процентов от их общего количества.

Кроме того, данная проблемная ситуация характерна для Республики Казахстан, так как для выполнения задач по снижению последствий пандемии, связанной с распространением коронавирусной инфекции, был проведен призыв мобилизационных ресурсов весной 2020 года, который показал их низкую подготовку [2]. Данный факт демонстрирует актуальность исследования, в том числе и для МЧС Казахстана.

² Указ Президента РФ от 20 декабря 2016 года № 696 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны на период до 2030 года», С.63.

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 20.06.2000 г. № 466-37 «Об утверждении положения о создании и подготовке специальных формирований, предназначенных при объявлении мобилизации для передачи в Вооруженные Силы Российской Федерации или использования в их интересах, а также в интересах экономики Российской Федерации», С.7.

Рассматривая процесс подготовки граждан, прибывающих из запаса, необходимо уточнить понятие приведения СФГО в готовность к выполнению задач по предназначению.

В энциклопедии «Гражданская защита» [3] утверждается, что «боевая готовность сил ГО достигается: укомплектованностью соединений, воинских частей и подразделений личным составом, вооружением и военной техникой; наличием необходимых запасов материальных средств, боевой выучкой личного состава и состоянием боевой техники и вооружения.

Основываясь на вышеизложенном, применительно к СФГО, под готовностью к применению по предназначению может пониматься способность ГПЗ, приписанных в СФГО, в любых условиях обстановки, своевременно прибыть в территориальный орган МЧС России и в установленные сроки приступить к выполнению возложенных на них задач. Эта способность определяется общим уровнем подготовки граждан успешно освоившим программу БС по определенным военно-учетным специальностям (далее – ВУС). Таким образом, уровень подготовки личного состава является важнейшей составляющей готовности СФГО.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о наличии проблемной ситуации, заключающейся в низком уровне подготовки ГПЗ по завершению БС, что может отрицательно повлиять на время приведения СФГО в готовность к действиям по предназначению. Это обстоятельство может привести к ряду негативных последствий из-за несвоевременного и некачественного выполнения поставленных задач. Данная проблемная ситуация может быть частично разрешена за счет учета требований, предъявляемых к процессу подготовки личного состава и соответствующих принципов.

Анализ установочного документа⁴ и ряда источников [1, 4, 10] позволил обобщить требования, предъявляемые к подготовке личного состава, которые применимы по отношению к СФГО:

достижение требуемых результатов обученности личного состава СФГО на всех этапах их подготовки;

⁴ Совместный приказ Министерства обороны Российской Федерации и Министерства образования Российской Федерации от 3 мая 2001 г. № 203 № 1936 «Об утверждении Инструкции об организации обучения граждан Российской Федерации начальным знаниям в области обороны и их подготовки по основам военной службы», С. 41.

согласованность специфической подготовки по предметам, с учетом установленных для определенных должностей ВУС;

рациональное использование учебной материально-технической базы боевого слаживания и экономичность проведения мероприятий боевой подготовки;

реализация в процессе подготовки обоснованных методик обучения и постоянное их совершенствование.

Приведенные выше требования необходимо учитывать при организации процесса подготовки СФГО.

В ряде работ [1, 4, 5] сформулированы основополагающие мероприятия для организации и проведения подготовки личного состава, основными из которых являются:

обеспечение постоянной готовности подразделений к выполнению задач по предназначению на каждом этапе проведения БС;

регулярное обновление основных положений в соответствии с современными тенденциями в сфере обучения;

циклическое повторение ключевых позиций (тезисов) в период проведения подготовки;

систематичность и последовательность обучения (обучение «от простого – к сложному»);

коллективный и индивидуальный подход к обучению.

Анализ приведенных тезисов показывает, что большинство из них целесообразно учитывать при организации подготовки личного состава СФГО. В частности, обеспечение постоянной готовности и «от простого – к сложному» являются основополагающими принципами подготовки личного состава СФГО, особенно по технически сложным и наукоемким ВУС. Их реализация в практике подготовки личного состава воинских формирований должна осуществляться с учетом условий, оказывающих на нее непосредственное влияние.

Данные условия целесообразно разделить на две группы:

Первая группа условий, влияющих на уровень начальной подготовки граждан, прибывающих из запаса для комплектования должностей в СФГО, которая включает:

- время прошедшее после окончания военной службы и увольнения в запас;

- степень соответствия военно-учетной специальности гражданина, прибывающего из запаса и предназначенного для комплектования конкретной должности в СФГО.

Вторая группа условий, влияющих на уровень подготовки личного состава СФГО приобретаемого в процессе боевого слаживания, которая включает:

- параметры программы подготовки в ходе БС;

- количественно-качественные характеристики состава офицеров и гражданского персонала, предназначенных для проведения занятий с гражданами, пребывающими в запасе, в ходе БС;

- уровень технического оснащения учебных мест для подготовки специалистов.

Следует отметить, что влияние на уровень подготовки ГПЗ условий второй группы достаточно полно исследованы в ряде работ [5,6,7]. В частности, в работе [5] проведено исследование по обоснованию рациональных параметров программы подготовки личного состава СФГО в ходе боевого слаживания. Для решения этой задачи был использован метод анализа иерархий, с помощью которого определены значимость параметров программы БС, а также на основе решения оптимизационной задачи были распределены временные ресурсы, обеспечивающие максимальный уровень подготовки по предметам БС.

Комплексная методика [6] посвящена обоснованию рационального варианта технического оснащения учебных мест для подготовки специалистов. Для решения был применен градиентный метод, на основе которого был выбран рациональный вариант распределения ресурсов на оснащение учебных мест техническими средствами с целью повышения эффективности подготовки специалистов.

Для количественно-качественной оценки должностных лиц, предназначенных для проведения занятий с ГПЗ в ходе БС могут быть использованы научные результаты, изложенные в статье [7]. В рамках проведения исследования авторами предлагается формализованная процедура отбора кандидатов для реализации преподавательской деятельности на основе комплексной оценки факторов качественного и количественного характера.

Для оценки влияния начального уровня подготовки ГПЗ на готовность к выполнению задач в составе СФГО был проведен экспертный опрос должностных лиц отделов организации мобилизационной подготовки и мобилизации главных управлений МЧС России по субъектам РФ. Обработка результатов экспертного опроса свидетельствует о низком начальном уровне подготовки личного состава СФГО вследствие их комплектования по «остаточному» принципу, большого количества остродефицитных ВУС, требуемых для комплектования подразделений и других факторов. Таким образом, установлено, что успешное решение задач в ходе БС позволит повысить уровень подготовки, но исключительно при условии, что начальный уровень подготовки ГПЗ будет находиться на минимально допустимом уровне.

Как показывает практика, минимально приемлемый уровень значения начальной подготовки [2] граждане прибывающие для комплектования СФГО не достигают. Особенно это наглядно отражается на примере ГПЗ, назначаемых на должности руководящего состава, технически сложных и наукоемких специальностей, так как по истечению установленного времени боевого слаживания они не в состоянии освоить знания, умения и навыки на требуемом уровне. Проведенный анализ [8] позволил установить причины сложившего положения, которые заключаются в следующем:

во-первых, образовался дефицит граждан, пребывающих в запасе по ряду ВУС, что приводит к необходимости назначать на должность специалистов с наиболее схожими ВУС;

во-вторых, отсутствует система периодической подготовки граждан в мирное время в ходе проведения военных сборов, оперативно-стратегических учений и т.д.

Сформулированная проблемная ситуация может привести к тому, что не будет обеспечен требуемый уровень готовности СФГО к выполнению задачи по предназначению, и как следствие – к большому ущербу и людским потерям. Для разрешения выявленной проблемной ситуации определены возможные направления:

определение рациональных параметров системы военно-сборовой подготовки с некоторыми категориями ГПЗ, осуществляемой в мирное время;

совершенствование параметров системы комплектования СФГО.

Реализация первого направления требует значительного объема выделяемых финансовых средств, что маловероятно в нынешних экономических реалиях.

Более перспективным для разрешения выявленной проблемной ситуации является второе направление. Реализация данного направления требует на начальном этапе исследования уточнения понятийного аппарата в области комплектования СФГО личным составом.

В настоящее время в силовых структурах РФ под системой комплектования подразумевается комплекс мероприятий по обеспечению войск личным составом, вооружением и военной техникой, а также другими средствами в мирное и военное время⁵.

Комплектование силовых структур личным составом определено:

принципами комплектования подразделений: территориальный и экстерриториальный;

способами комплектования подразделений: призывной, контрактный и смешанный.

В настоящее время комплектование СФГО осуществляется на основе призыва ГПЗ в военное время, что является одной из основных причин низкого уровня их начальной подготовки. При смешанном способе комплектования появляется возможность заключать контракты с отдельными гражданами, предназначенными для замещения должностей, соответствующих технически сложным и наукоемким военно-учетным специальностям, определяющим уровень готовности СФГО к выполнению задач по предназначению.

Необходимо отметить, что реализация данного подхода к комплектованию отдельных должностей в развертываемых подразделениях ВС РФ позволила получить существенный положительный эффект [9]. Реализация смешанного способа комплектования СФГО предусматривает обоснование варианта комплектования подразделений ГПЗ, в рамках которого должен быть определен перечень должностей, которые целесообразно комплектовать гражданами, заключившими контракт на пребывание в резерве. Под резервистами следует понимать ГПЗ, поступившие в мобилизационные людские резервы СФГО на добровольной основе путем заключения контракта о пребывании в резерве.

С учетом изложенного может быть предложена научная гипотеза разрешения сформулированной выше проблемной ситуации в рассматриваемой предметной области – начальный уровень подготовки личного состава СФГО можно повысить на основе решения оптимизационной задачи, в рамках которой необходимо обосновать рациональный вариант комплектования должностей СФГО резервистами.

Под вариантом (альтернатива) комплектования СФГО резервистами понимается определенный перечень должностей СФГО комплектуемых гражданами, пребывающими в запасе, по контракту.

Под рациональным вариантом (альтернативы) комплектования СФГО резервистами понимается такая совокупность должностей, определяющих боевую готовность, назначение на которые резервистов обеспечит максимальный уровень подготовки личного состава СФГО к выполнению задач по предназначению при минимальных финансовых затратах.

Для определения показателей, характеризующих уровень подготовки личного состава на каждом этапе приведения в готовность СФГО, могут быть использованы теоретические положения и научно-методический аппарат

⁵ Военный энциклопедический словарь [Электронный ресурс].

теории квалиметрии. Для оценки затрат на комплектование должностей СФГО резервистами целесообразно использовать экономические показатели с учетом основных методических положений разработанные в работе [10].

Различные варианты комплектования СФГО резервистами будут характеризоваться уровнем подготовки личного состава, требуемым временем на обучение и необходимым объемом материальных и финансовых ресурсов.

Выбор рационального варианта комплектования СФГО резервистами может быть осуществлен с помощью решения прямой и обратной задач военно-экономического анализа [10].

Завершая обзор известных публикаций в рассматриваемой предметной области, необходимо отметить, что вопросам совершенствования подготовки личного состава в них уделяется достаточно пристальное внимание, но основной акцент все же делается на рассмотрении и поиске недостатков в методических аспектах. Таким образом, принципы и способы комплектования являются важной составляющей процесса подготовки в целом, но на этапе, когда уже определены должности, которые необходимо перевести на контракт.

Прямая задача формулируется следующим образом: необходимо выбрать такой вариант комплектования СФГО резервистами, который позволит достичь максимального общего уровня подготовки личного состава СФГО, с учетом ограничения на количество

должностей, которые разрешено перевести на контракт.

Обратная постановка задачи имеет целью подобрать рациональный вариант комплектования СФГО резервистами, при котором будет обеспечен требуемый уровень подготовки при минимальном количестве должностей, необходимых перевести на контрактную основу.

Проведенный краткий анализ известного научно-методического аппарата в рассматриваемой предметной области, позволяет сделать вывод о том, что он может составить некоторую основу для решения задачи обоснования рационального варианта комплектования СФГО резервистами. В то же время, следует отметить, что в ранее проведенных исследованиях не учитывался ряд факторов [5], влияющих на структуру и содержание подготовки граждан, пребывающих в запасе, оказывающих существенное влияние на общий уровень начальной подготовки личного состава СФГО в условиях заданных ограничений.

С учетом изложенного, возникает необходимость формулировки новой постановки научной задачи и разработки научно-методического аппарата для обоснования рационального варианта комплектования резервистами СФГО, с целью своевременного их приведения в готовность к выполнению задач по предназначению с учетом основных факторов, влияющих на общий уровень подготовки граждан, пребывающих в запасе.

Список литературы

1. Анализ проблемной ситуации обеспечения силовых структур призывными и мобилизационными людскими ресурсами и пути ее решения / В. В. Панченков, Б. П. Смирнов, А. И. Мазаник [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 1 (48). С. 3–10.

2. Фрайденберг А. Г., Зиядинов Ш. О. Анализ комплектования территориальных войск гражданами, пребывающими в запасе, для борьбы с пандемией в период введения чрезвычайного положения в Республике Казахстан // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: сборник тезисов и докладов XII Международной научно-практической конференции. Кокшетау: АГЗ им. М. Габдулина МЧС Республики Казахстан. 2021. С. 231–235.

3. Гражданская защита: Энциклопедия в 4-х томах. Т. I (А – И) (издание третье, переработанное и дополненное) / под общей

ред. В. А. Пучкова. МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 666 с.

4. Андрианов И. А. Метод оптимальной организации подготовки подразделений резервных формирований силовых структур // Военная мысль. 2005. № 10. С. 23–34.

5. Формализованная постановка задачи обоснования рациональных параметров программы подготовки специальных формирований гражданской обороны / В. В. Панченков, А. И. Мазаник, А. В. Веселов [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (47). С. 3–11.

6. Комплексная методика обоснования рационального варианта технического оснащения учебных мест для подготовки специалистов в области РХБ защиты / А. А. Абдрахманов, А. И. Мазаник, В. Г. Полевой [и др.] // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. № 1 (48). С. 73–82.

7. Панченков В. В., Мазаник А. И., Глушаченков А. А. Штабная методика работы

руководящего состава и кадровых органов по оценке и выбору кандидатов для замещения вакантных должностей в военном образовательном учреждении // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4 (43). С. 3–15.

8. Анализ факторов, влияющих на выбор и обоснование рационального способа комплектования формирований гражданской защиты гражданами, пребывающими в запасе (на примере Республики Казахстан) Е. Б. Кондратьев, А. И. Мазаник, А. Г. Фрайденберг [и др.] // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2021. № 4. С. 121–127.

9. Шлык Ю. Ф. К вопросу о принципах и способах комплектования ВС РФ в мирное время // Военная мысль. 2006. № 9. С. 32–35.

10. Смирнов А. В. Система подготовки и накопления мобилизационных людских ресурсов в Российской Федерации (теоретико-правовые вопросы): дис. ... канд. юрид. наук. М.: ВУ МО, 2013. 147 с.

References

1. Analiz problemnoy situatsii obespecheniya silovykh struktur prizyvnyimi i mobilizatsionnymi lyudskimi resursami i puti yeye resheniya [Analysis of the problematic situation of providing law enforcement agencies with conscription and mobilization human resources and ways to solve it] / V. V. Panchenkov, B. P. Smirnov, A. I. Mazanik [et al.]. *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoй zashchity*. 2021, vol. 1 (48), pp. 3–10.

2. Fraydenberg A. G., Ziyadinov Sh. O. Analiz komplektovaniya territorial'nykh voysk grazhdanami, prebyvayushchimi v zapase, dlya bor'by s pandemiyei v period vvedeniya chrezvychaynogo polozheniya v Respublike Kazakhstan [Analysis of the recruitment of territorial troops by citizens in reserve to combat the pandemic during the introduction of the state of emergency in the Republic of Kazakhstan]. *Sbornik tezisev i dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy pozharnoy bezopasnosti, preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy»*. Kokshetau: AGZ im. M. Gabdulina MCHS Respubliki Kazakhstan. 2021, pp. 231–235.

3. *Grazhdanskaya zashchita: Entsiklopediya v 4-kh tomakh. T. I (A – I) (izdaniye tret'ye, pererabotannoye i dopolnennoye)* [Civil Protection: Encyclopedia in 4 volumes. Vol. I (A – I) (third edition, revised and supplemented)] / pod obshchey red. V. A. Puchkova. MCHS Rossii. M.: FGBU VNII GOCHS (FTS), 2015, 666 p.

4. Andrianov I. A. Metod optimal'noy organizatsii podgotovki podrazdeleniy rezervnykh formirovaniy silovykh struktur [Method of optimal organization of training of units of reserve formations of power structures]. *Voyennaya mysl'*, 2005, issue 10, pp. 23–34.

5. Formalizovannaya postanovka zadachi obosnovaniya ratsional'nykh parametrov programmy podgotovki spetsial'nykh formirovaniy grazhdanskoй oborony [Formalized statement of the problem of substantiating rational parameters of the training program of special formations of civil defense] / V. V. Panchenkov, A. I. Mazanik, A. V. Veselov [et al.] // *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2020, vol. 4 (47), pp. 3–11

6. Kompleksnaya metodika obosnovaniya ratsional'nogo varianta tekhnicheskogo osnashcheniya uchebnykh mest dlya podgotovki spetsialistov v oblasti RKHB zashchity [Complex methodology of substantiation of rational variant of technical equipment of educational places for training specialists in the field of RCB protection] / A. A. Abdrakhmanov, A. I. Mazanik, V. G. Polevoy [et al.]. *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoй zashchity*, vol. 1 (48), 2021, pp. 73–82.

7. Panchenkov V. V., Mazanik A. I., Glushachenkov A. A. Shtabnaya metodika raboty rukovodyashchego sostava i kadrovyykh organov po otsenke i vyboru kandidatov dlya zameshcheniya vakantnykh dolzhnostey v voyennom obrazovatel'nom uchrezhdenii [Staff methodology of the work of the management staff and personnel bodies for the evaluation and selection of candidates for vacant positions in a military educational institution]. *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2019, vol. 4 (43), pp. 3–15.

8. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vybor i obosnovaniye ratsional'nogo sposoba komplektovaniya formirovaniy grazhdanskoй zashchity grazhdanami, prebyvayushchimi v zapase (na primere Respubliki Kazakhstan) [Analysis of factors influencing the choice and justification of a rational method of recruiting civil protection units by citizens staying in reserve (on the example of the Republic of Kazakhstan)] / Ye. B. Kondrat'yev, A. I. Mazanik, A. G. Fraydenberg [et al.]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Sibirskiy pozharno-spasatel'nyy vestnik»*, 2021, issue 4, pp. 121–127.

9. Shlyk Yu. F. K voprosu o printsipakh i sposobakh komplektovaniya VS RF v mirnoye vremya [On the question of the principles and methods of manning the Armed Forces of the Russian Federation in peacetime]. *Voyennaya mysl'*, 2006, issue 9. pp. 32–35.

10. Smirnov A. V. Sistema podgotovki i nakopleniya mobilizatsionnykh lyudskikh resursov

v Rossiyskoy Federatsii (teoretiko-pravovyye vo-
prosy). Diss. kand. jurid. nauk [The system of
training and accumulation of mobilization human

resources in the Russian Federation (theoretical
and legal issues). Cand. legal sci. diss.]. M.: VU
MO, 2013. 147 p.

Кондратьев Евгений Борисович

Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Первый заместитель начальника Академии гражданской защиты МЧС России

E-mail: agz@amchs.ru

Kondratiev Evgeny Borisovich

Academy of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Khimki

First Deputy Head of the Academy of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia

E-mail: agz@amchs.ru

Мазаник Александр Иванович

Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Главный научный сотрудник научно-исследовательского центра, доктор военных наук, профессор

E-mail: al.maza@mail.ru

Mazanik Alexander Ivanovich

Academy of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Khimki

Chief Researcher of the Research Center, Doctor of Military Sciences, Professor

E-mail: al.maza@mail.ru

Фрайденберг Александр Геннадьевич

Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Адъюнкт научно-исследовательского центра от МЧС Республики Казахстан

E-mail: freidenberg@inbox.ru

Freidenberg Alexander Gennadievich

Academy of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Khimki

Adjunct of the Research Center from the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan

E-mail: freidenberg@inbox.ru

Каирбеков Кенесары Калейаскарович

Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Адъюнкт научно-исследовательского центра от МЧС Республики Казахстан

E-mail: Kenesar25.07@mail.ru

Kairbekov Kenesary Kaleyaskarovich

Academy of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Adjunct of the Research Center from the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan

Russian Federation, Khimki

E-mail: Kenesar25.07@mail.ru

УДК 004.023

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ВАЖНОСТИ ЗАДАЧ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА КРУПНОГО ПОЖАРА

А. В. КУЗНЕЦОВ¹, С. Ю. БУТУЗОВ², Д. В. ТАРАКАНОВ²

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

² Академия ГПС МЧС России

Российская Федерация, г. Москва

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, S.Butuzov@academygps.ru, den-pgs@yandex.ru

Количество крупных пожаров в Российской Федерации не велико и составляет не более 0,04% от общего количества пожаров, однако причиненный ущерб от крупных пожаров составляет половину общего ущерба от пожаров, взятых на статистический учет. Для тушения крупных пожаров привлекаются силы и средства пожарных подразделений по повышенному номеру (рангу) пожара. Организационная структура управления на данных пожарах является весьма сложной и нуждается в непрерывном, качественном информационном обеспечении. Одним из способов получения качественного информационного обеспечения на крупных пожарах является применение мобильных средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем.

Целью работы является повышение эффективности управления мобильными средствами при мониторинге крупных пожаров за счет применения алгоритма оценки важности задач на боевых участках (секторах) тушения пожара, зависящий от тактических возможностей пожарных подразделений, участвующих в тушении крупного пожара.

Ключевые слова: крупный пожар, участок тушения пожара, мониторинг, мобильные средства мониторинга.

ALGORITHM FOR ASSESSING THE IMPORTANCE OF THE TASKS OF ORGANIZING MONITORING OF A LARGE FIRE

A. V. KUZNETSOV¹, S. Y. BUTUZOV², D. V. TARAKANOV²

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

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

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, S.Butuzov@academygps.ru, den-pgs@yandex.ru

Statistics show that the number of large fires in the Russian Federation is several times less than the total number of fires, but the damage caused by these fires is based around half of the total number of fires. To extinguish such fires, the forces and means of fire departments are involved according to the increased number (rank) of the fire. The organizational structure of management of these fires is very complex and needs continuous, high-quality information support. One of the ways to obtain high-quality information support for large fires is the use of mobile monitoring tools based on unmanned aircraft systems.

The aim of the work is to increase the efficiency of mobile means management when monitoring large fires through the use of a decision support method based on multi-criteria optimization. An algorithm has been developed to assess the importance of tasks in combat areas of fire extinguishing, depending on the tactical capabilities of fire departments involved in extinguishing a large fire.

Key words: large fire, fire extinguishing area, monitoring, mobile monitoring tools.

Согласно статистическим данным [1], полученным за 2016–2020 гг., количество крупных пожаров в Российской Федерации составляют лишь сотые доли процентов от всего количество пожаров за указанный период (рис. 1).

Однако стоит отметить, что сопровождающие факторы крупного пожара, и, в частности, ущерб от пожаров, выраженный в материальном эквиваленте, составляет половину от всех произошедших пожаров на территории нашей страны (рис. 2).



Рис. 1. Процентное соотношение крупных пожаров от количества всех пожаров за указанный период

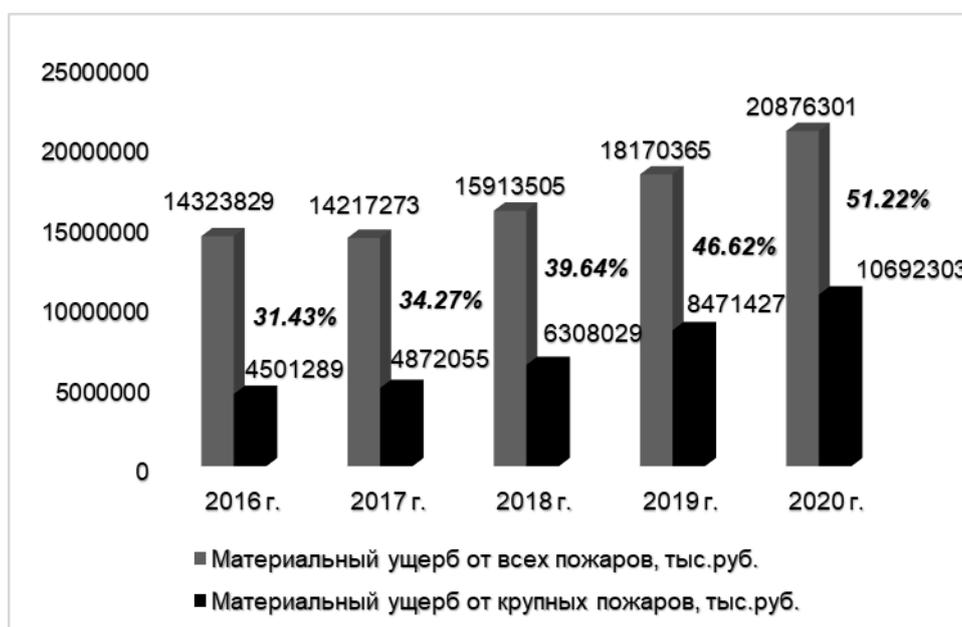


Рис. 2. Процентное соотношение материального ущерба, полученного от крупного пожара и материального ущерба всех пожаров за указанный период

Крупный пожар подразумевает под собой соответствие одному или нескольких факторов, таких как: на пожар привлекается боль-

шое количество личного состава и специализированной техники; потери от пожара оцениваются в 3420 минимальных размеров оплаты

труда и более; пожар унес жизни 5 человек и более; на пожаре было травмировано 10 человек и более.

Крупные пожары, возникающие в техногенной среде, предполагают под собой привлечение большого количества сил и средств, что в свою очередь говорит о сложной организационной структуре управления на пожаре. Руководитель тушения пожара не в силах организовать управление всеми участниками тушения пожара, поэтому в зависимости от сложившейся обстановки на пожаре вводятся боевые участки тушения пожара. Создание боевых участков на пожаре организуется по видам работ, либо по местам проведения действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ¹. На месте боевого участка назначается начальник, который возглавля-

ет организационную структуру управления на своем боевом участке.

Информационное обеспечение играет одну из основополагающих ролей в организационной структуре системы поддержки принятия решений. При возникновении крупных пожаров и создании ряда боевых участков для информационного обеспечения применяют мобильные средства мониторинга на базе беспилотных авиационных систем (БАС) [2-6]. Организация системы мониторинга при помощи мобильных средств осуществляется исключительно из субъективного решения оператора БАС. Однако стоит отметить, что различные боевые участки тушения пожара работают по своим направлениям и с различным количеством сил и средств (рис. 3).

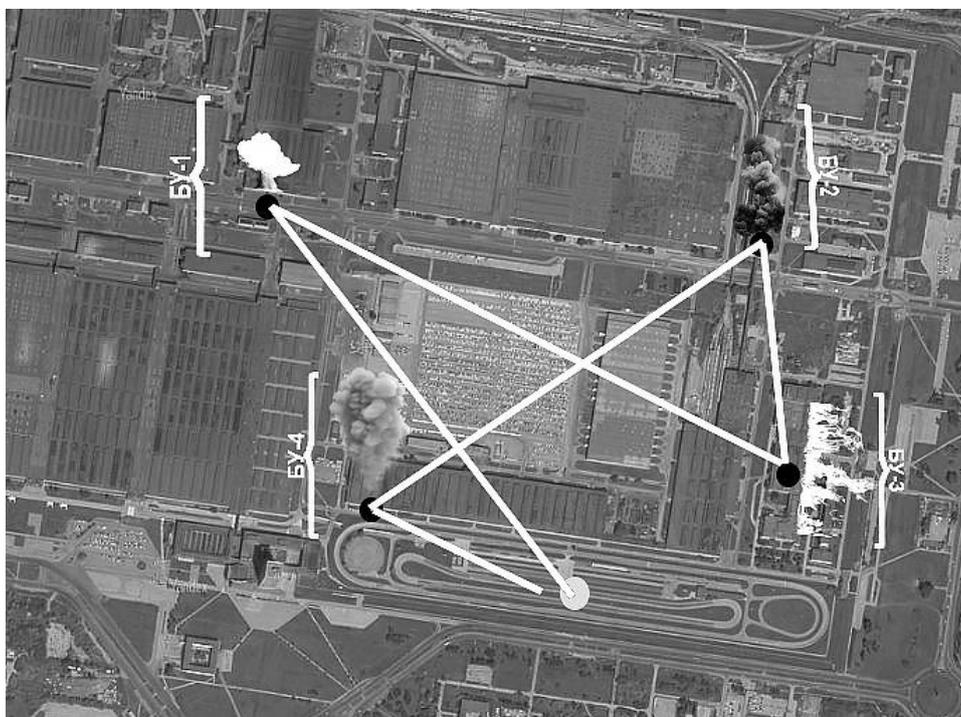


Рис. 3. Организация системы мониторинга на крупном пожаре по боевым участкам

Стоит отметить, что при организации мониторинга крупного пожара, нужно учитывать «важность» каждого боевого участка тушения пожара. На рисунке 3 отмечены точки мониторинга (места, в которых средство мониторинга ведет свою непосредственную работу), каждая точка имеет свой «вес» свою относительную важность от других точек (позиций) мониторинга.

¹ Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава пожарной охраны (БУПО), определяющего порядок организации

Исходя из этого возникает важный практический вопрос для оператора БАС о возможности применения мобильных средств мониторинга на боевых участках тушения пожара, учитывая результаты оценки важности задач на данных боевых участках. Чтобы определить важность задач на каждом боевом участке тушения пожара, которая заключается в локализации и ликвидации в минимальные временные сроки и зависящая от тактических

тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

возможностей пожарных подразделений, воспользуемся критерием эффективности боевых действий подразделений на пожаре [8]. Данный критерий необходимо определить на каждый боевой участок тушения пожара при помощи линейной зависимости [8]:

$$E = f(Q, N_{\text{чел}}; N_{\text{ств}}), \quad Q = f(N_{\text{чел}}; N_{\text{ств}}), \quad (1)$$

где Q – расход подаваемых огнетушащих веществ на тушение пожара, л/с.

$N_{\text{чел}}$ – личный состав, задействованный в проведении работ по тушению пожара на определенном боевом участке;

$N_{\text{ств}}$ – величина поданных стволов на тушение пожара на соответствующем боевом участке.

Таким образом, как только на крупном пожаре организуется работа на нескольких боевых участках тушения пожара, следовательно, принятие управленческого решения будет характеризоваться векторной оценкой. Элементы, приведенные ранее, определяют степень достижения основной боевой задачи пожарных подразделений, которая решается на определенном боевом участке, которую в дальнейшем будем считать «относительной важностью» задач пожаротушения, решаемых на указанном боевом участке (секторе). Для формализованного описания оценки относительной важности задач пожаротушения воспользуемся процедурой разработанной в [7] на основе теории многофакторной оптимизации и выполним адаптацию данной процедуры в виде алгоритма.

В соответствии с принципами многофакторной оптимизацией и процедурой оценки важности, разработанной в [7] введем понятия следующих теоретических моделей:

– модель ранжирования вариантов управленческих решений A ;

– модель теоретико-множественного анализа управленческих решений B .

Представим модели следующим образом:

$$A = \langle X_n, F_m, R, \omega_m \rangle; \quad (2)$$

$$B = \langle X_n, F_m, N, \Theta_m \rangle, \quad (3)$$

где X – совокупность элементов, состоящее из n вариантов управленческих решений; F_m – векторный критерий, состоящий из m частных компонент каждая из которых оценивает тактический потенциал пожарных подразделений, работающих на соответствующем боевом участке тушения пожара; R – функция (прави-

ло) ранжирования вариантов управленческих решений; ω_m – показатели важности компонент векторного критерия F_m ; N – правило теоретико-множественного анализа вариантов управленческих решений; Θ – коэффициенты относительной важности компонент векторного критерия; $n \times m$ – размерность модели.

Пусть в многофакторной модели $B = \langle X_n, F_m, N, \Theta_m \rangle$ задано множество I номеров компонент векторного критерия. Мощность множества I составляет величину m равную мощности множества F_m , то есть равную количеству компонент векторного критерия. Пусть в множестве I существует одна наиболее важная компонента векторного критерия с номером i , и остальные менее важные компоненты с номерами $j \in I/i$. В модели B задано множество коэффициентов относительной важности Θ_m , определяющих превосходство в важности компоненты векторного критерия с номером i над компонентами векторного критерия с номерами j и $\Theta_i = 1$; $\Theta_j < 1$. Тогда показатели важности ω_m для многофакторной модели $A = \langle X_n, F_m, R, \omega_m \rangle$ будут определяться по формулам:

для компоненты с номером i :

$$\omega_i = \frac{m}{m + \Theta_i - 1}; \quad (4)$$

для всех компонент с номерами j

$$\omega_j = \frac{\Theta_j}{m + \Theta_j - 1}, \quad (5)$$

где $\Theta = \sum_{k=1}^m \Theta_k, k = 1, 2, \dots, m$.

Следовательно, чтобы оценить важность задач, решаемых на боевых участках тушения пожара при его мониторинге, необходимо выполнить следующий алгоритм:

1. На первом этапе необходимо для каждого боевого участка тушения пожара рассчитать значения критерия тактических возможностей. На данном этапе путем подсчета количества работающих участников тушения пожара и работающих приборов подачи огнетушащих веществ рассчитывают скорость локализации пожара на каждом боевом участке тушения пожара в отдельности.

2. На втором этапе определяют участок тушения пожара, на котором решают задачу решающего направления ведения действий, для данного боевого участка скорость локализации пожара будет максимальной, то есть будут так же максимально соотношением количества участников тушения пожара и приборов

подачи огнетушащих веществ. Данному боевому участку присваивают номер i , остальным боевым участкам присваивают номера j .

3. На третьем этапе рассчитывают набор коэффициентов относительной важности по формуле Θ_m :

$$\Theta_k = \frac{E_k}{E_i}, k=1,2, \dots, m.$$

Стоит отметить, что для боевого участка тушения пожара с номером i коэффициент относительной важности будет равен $\Theta_i=1$, для боевых участков с номерами j коэффициенты будут иметь значения $\Theta_j < 1$.

4. На четвертом этапе с использованием набора коэффициентов Θ_m и формул (4), (5) определяют важность задач, выполняемые на боевых участках тушения пожара, которые в дальнейшем используются при выборе способов применения БАС для мониторинга пожара.

В качестве примера рассмотрим оценку важности задач на четырех боевых участках тушения пожара по критерию [8]

$$E = 1,23 + 0,012N_{\text{чел}} + 0,09N_{\text{ств}}.$$

Исходные данные и результаты решения задачи представлены в табл. 1

Таблица 1. Оценка важности задач на боевых участках тушения крупного пожара

m	Исходные данные		Результаты расчета			
	$N_{\text{чел}}$	$N_{\text{ств}}$	E	I	Θ	ω
1	7	2	1,49	j	0,72	0,12
2	12	5	1,82	j	0,88	0,14
3	18	7	2,08	i	1,00	0,64
4	3	1	1,36	j	0,65	0,10
Сумма:	40	15		Сумма:	3,25	1,00

В результате представленный алгоритм по оценке важности задач на боевых участках тушения пожара, является важным элементом в общей организационной структуре системы поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга (рис. 4).

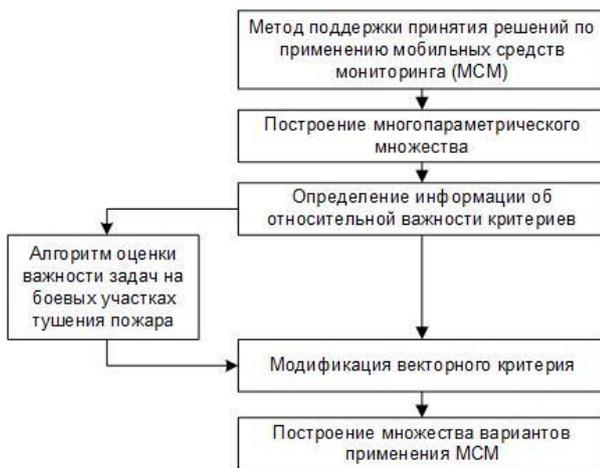


Рис. 4. Схема поддержки принятия решений по применению мобильных средств мониторинга

Применение данного алгоритма для поддержки принятия решений позволит должностным лицам на пожаре определить важность задач, решаемых на боевых участках тушения пожаров и выполнить их ранжирование. Оператору БАС, на основе многопараметрического выбора, определить множество вариантов по применению мобильных систем мониторинга в рациональной иерархии, благодаря чему происходит сокращение времени на принятие обоснованных решений.

Подводя итоги, стоит отметить, что в работе представлен алгоритм оценки важности задач, представляющий собой основной элемент в общей организационной структуре системы поддержки принятия решений по применению мобильных средств при организации мониторинга крупных пожаров. Алгоритм, основанный на теории многофакторной оптимизации, позволяет определить систему предпочтений по применению способов мониторинга крупных пожаров и идентифицировать рациональный вариант решения задач управления.

Список литературы

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: статистический сборник / Под общей редакцией Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
2. Кузнецов А. В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 18–23.
3. Информационные ресурсы системы мониторинга крупных пожаров на объектах энергетики / А. В. Кузнецов, Д. В. Тараканов, М. О. Баканов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (37). С. 24–32
4. Model of cyclical monitoring and managing of large-scale fires and emergencies for evaluation of the required number of unmanned aircraft systems / D. V. Tarakanov, V. Prajova, M. O. Bakanov [et al.]. MM Science Journal, October 2020, pp. 4040–4044. DOI: 10.17973/MMSJ.2020_10_2020059
5. Кузнецов А. В., Баканов М. О., Тараканов Д. В. Планирование мониторинга затяжных пожаров на основе плотности распределения случайных величин // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России – 2019: сборник материалов. Химки: ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России. 2018. С. 48–51.
6. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития / М. О. Баканов, Д. В. Тараканов, А. В. Кузнецов, [и др.] // Мониторинг. Наука и Технологии. 2018. № 3 (36). С. 51–53. URL: <http://csmos.ru/index.php?page=mnt-issue-2018-3/> (дата обращения 04.02.2022)
7. Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Михайлов К. А. Теоретические основы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании: монография / Под общей редакцией д-ра техн. наук, профессора Н. Г. Топольского. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. 320 с.
8. Подгрушный А. В. Совершенствование управления боевыми действиями пожарных подразделений на основе их тактических возможностей: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М., 2004. 24 с.
2. Kuznetsov A. V. Model' tsiklicheskogo monitoringa krupnykh pozharov i poiskovo-spasatel'nykh rabot [Model of cyclic monitoring of large fires and search and rescue operations] / *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2021, vol. 4 (41), pp. 18–23.
3. Informatsionnyye resursy sistemy monitoringa krupnykh pozharov na ob'yektakh energetiki [Information resources of the system for monitoring large fires at power facilities] / A. V. Kuznetsov, D. V. Tarakanov, M. O. Bakanov [et al.] // *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, vol. 4 (37). pp. 24–32
4. Model of cyclical monitoring and managing of large-scale fires and emergencies for evaluation of the required number of unmanned aircraft systems / D. V. Tarakanov, V. Prajova, M. O. Bakanov [et al.]. MM Science Journal, October 2020, pp. 4040–4044. DOI: 10.17973/MMSJ.2020_10_2020059
5. Kuznetsov A. V., Bakanov M. O., Tarakanov D. V. Planirovaniye monitoringa zatyazhnykh pozharov na osnove plotnosti raspredeleniya sluchaynykh velichin [Planning for monitoring of protracted fires based on the density of distribution of random variables] / *Shkola molodykh uchenykh i spetsialistov MCHS Rossii – 2019: sbornik materialov*. Khimki: FGBVOU VO Akademiya grazhdanskoy zashchity MCHS Rossii, 2018, pp. 48–51.
6. Modeli kachestva monitoringa pozharov i chrezvychaynykh situatsiy s uchetom spetsifiki ikh razvitiya [Quality models for monitoring fires and emergencies, taking into account the specifics of their development] / M. O. Bakanov, D. V. Tarakanov, A. V. Kuznetsov [et al.]. // *Monitoring. Nauka i Tekhnologii*, 2018, vol. 3 (36), pp. 51–53. URL: <http://csmos.ru/index.php?page=mnt-issue-2018-3/> (data obrashcheniya 04.02.2022)
7. Topol'skiy N. G., Tarakanov D. V., Mikhaylov K. A. *Teoreticheskiye osnovy podderzhki upravleniya pozharnymi podrazdeleniyami na osnove monitoringa dinamiki pozhara v zdanii: monografiya* [Theoretical foundations for supporting the management of fire departments based on monitoring the dynamics of a fire in a building: Monograph] / Pod obshchey redaktsiyey d-ra tekhn. nauk, professora N. G. Topol'skogo. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2019, 320 p.
8. Podgrushnyy A. V. Sovershenstvovaniye upravleniya boyevymi deystviyami pozharnykh podrazdeleniy na osnove ikh takticheskikh vozmozhnostey. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Improving the management of combat operations of fire departments based on their tactical capabilities: avtoreferat cand. tech. sci. diss.]. M., 2004, 24 p.

References

1. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: Statisticheskij sbornik* [Fires and fire safety in 2020: Statistical compendium] / Pod obshchey redaktsiyey D. M. Gordiyenko. M.: VNIPO, 2021, 112 p.

Кузнецов Александр Валерьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель кафедры
E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Valerievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
teacher of the department
E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Тараканов Денис Вячеславович

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
профессор кафедры,
доктор технических наук
E-mail: den-pgs@yandex.ru

Tarakanov Denis Vyacheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «State Fire Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Moscow
professor of the Department,
doctor of Technical Sciences
E-mail: den-pgs@yandex.ru

Бутузов Станислав Юрьевич

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
профессор кафедры, доктор технических наук, доцент
E-mail: S.Butuzov@academygps.ru

Butuzov Stanislav Yurievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «State Fire Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Moscow
professor of the Department, doctor of Technical Sciences, associate professor
E-mail: S.Butuzov@academygps.ru

УДК 614.842.6

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

М. А. МАРЕЕВ¹, А. Н. ДЕНИСОВ²

¹Главное управление пожарной охраны МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

²Академия ГПС МЧС России
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru, dan_aleks@mail.ru

Залогом эффективной локализации и ликвидации пожара является качественное и умелое управление силами и средствами, прибывшими к месту вызова. Здесь важно, чтобы руководитель тушения пожара владел достаточным количеством информации о возможностях развития пожара и определил оптимальное количество сил и средств для ликвидации. Поэтому уже в процессе следования к месту вызова анализируется оперативная документация, которая касается объекта (планы и карточки пожаротушения). Актуальным в этом случае является применение методов, моделей и алгоритмов, которые позволяют облегчить расчет параметров развития и ликвидации пожара, а также оптимального количества сил и средств для его ликвидации. Основная суть эффективного управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров заключается в принятии изменений даже на заключительных этапах процесса тушения. Методы управления должны фокусироваться на оценке всех параметров, которые имеют ценность при боевых действиях, а затем на передаче информации в режиме реального времени, что позволяет строго контролировать процесс ведения боевых действий. В представленной работе приведен краткий анализ методов и моделей поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров. Рассмотрены существующие алгоритмы поддержки управления, выявлены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: эффективность управления, алгоритм управления, развитие пожара, локализация, боевые действия.

ANALYSIS OF METHODS AND MODELS TO SUPPORT THE MANAGEMENT OF FIRE AND RESCUE UNITS IN FIRE EXTINGUISHING

M. A. MAREEV¹, A. N. DENISOV²

¹Fire Main Office EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

²Academy of the state service of EMERCOM of Russia
Russian Federation, Moscow

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru, dan_aleks@mail.ru

The key to effective localization and elimination of a fire is the high-quality and skillful management of the forces and means that arrived at the place of the call. It is important here that the fire extinguishing manager has sufficient information about the possibilities of fire development and determines the optimal amount of forces and means for liquidation. Therefore, already in the process of moving to the place of the call, operational documentation is analyzed that relates to the object (fire extinguishing plans and maps). Relevant in this case is the use of an approach that would facilitate the calculation of the parameters of the development and elimination of a fire, as well as the optimal amount of forces and means for its elimination. The main essence of effective management of fire and rescue units in extinguishing fires is to accept changes even at the last stages of the extinguishing process. The management methodology should focus on evaluating all the parameters that have value in combat, and then on real-time transmission of information, which allows for strict control over the conduct of hostilities. The presented work provides an analysis of existing approaches to supporting the management of fire and rescue units in extinguishing fires. Existing control algorithms are considered, their advantages and disadvantages are revealed.

Key words: control efficiency, control algorithm, fire development, localization, combat operations.

В общем случае алгоритм боевых действий по тушению пожаров состоит из¹:

- действий, которые должны проводиться непосредственно до прибытия к месту пожара. Данные действия включают в себя:

а) прием, обработка поступившего сообщения о произошедшем пожаре;

б) выезд и следование непосредственно к месту пожара;

- действий, которые должны выполняться уже на месте возникновения пожара. Данные действия включают в себя следующие:

а) прибытие к месту возникновения пожара;

б) организационное управление силами и средствами;

в) разведка;

г) спасение;

д) боевое развертывание сил и средств;

е) ликвидация горения;

ж) проведение АСР, связанных с тушением пожара, и других специальных работ;

- действий, которые должны выполняться после ликвидации пожара. Данные действия включают в себя следующие:

а) сбор и следование в место постоянной дислокации;

б) восстановление боеготовности подразделения пожарной охраны.

Деятельность подразделений пожарной охраны связана с быстрым реагированием на пожары. Эффективность деятельности пожарно-спасательной службы зависит от умелого и быстрого выполнения действий, направленных на минимизацию убытков, которые может нанести стихия [1].

Одними из основных параметров, влияющих на управление подразделениями пожарной охраны при тушении пожаров, являются следующие:

- количество пожарной техники;

- количество используемых пожарных стволов;

- предварительная продолжительность тушения пожаров;

- возможное увеличение площади пожара.

Помимо этого, одним из факторов, который должен учитываться при управлении

подразделениями пожарной охраны при пожаротушении, является надежность и техническое состояние пожарных насосных установок.

Рассмотрим существующие методы и модели поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями.

В работе [2] исследовался вопрос управления пожарными подразделениями и боевыми действиями при тушении пожара и выделялись три метода:

- прямого тушения, может быть применим, когда имеется возможность непосредственно потушить пожар;

- косвенного тушения в помещениях (транспорте), может быть применим, когда температура в помещении повышается и создаются условия для объемной вспышки;

- объемного тушения.

При этом утверждается, что «силы и средства подразделения пожарной охраны должны быть адекватны решаемой оперативной управленческой задаче в каждой точке времени и месте пожара, а также прилегающей к нему территории, на которой существует угроза жизни и здоровью граждан, имуществу при тушении пожара» [2].

Традиционная схема управления на месте тушения пожара представлена на рис. 1.

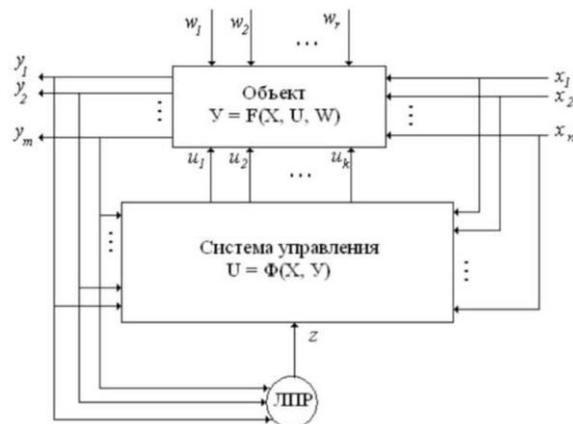


Рис. 1. Традиционная схема управления на месте тушения пожара

(ЛПР – лицо принимающее решение, x, w – входные векторы, y – выходной вектор, Y, U – значения вектора)

¹ Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

В работе [3] предлагается математическая модель управления пожарно-спасательными подразделениями на основании модели принятия решений.

Структурная схема многокритериального выбора управления подразделениями пожарной охраны представлена на рис. 2.

Исследователи при поддержке управления подразделениями пожарной охраны обращаются к матричному методу многокритериального анализа, методу парных сравнений и

аксиоматическому методу. Развивают логико-лингвистические и причинно-следственные модели.

При выборе моделей поддержки управления преобладает модель, которая представлена на рис. 3.



Рис. 2. Структурная схема многокритериального выбора управления подразделениями пожарной охраны

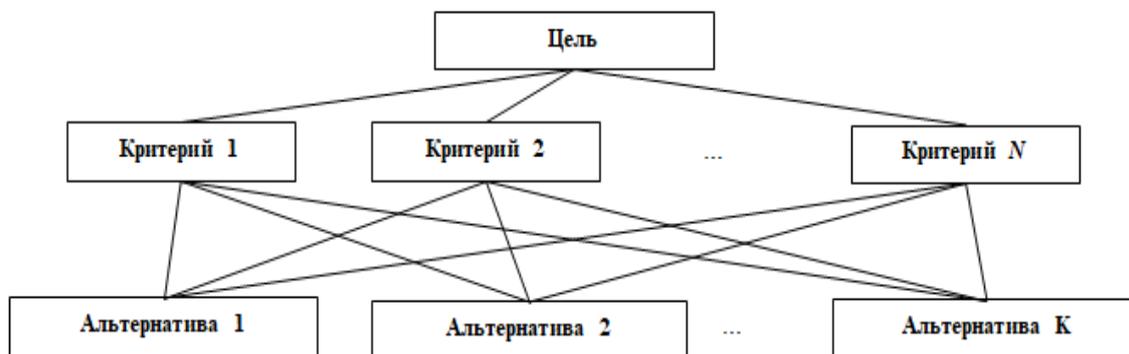


Рис.3. Модель выбора методологии управления подразделениями пожарной охраны

Под выбором наиболее подходящего метода управления понимается вариант Y из некоторого множества вариантов $\{Y\}$. Полагается, что имеется конечное число вариантов выбора:

$$Y_1, Y_2 \dots Y_i \dots Y_n. \quad (1)$$

Для каждого из факторов, которые необходимо учитывать при управлении под-

разделениями, которые входят в функцию (1) можно подобрать оптимальный вариант.

В работе [3] обосновывается применение С..П..П..Р.. при управлении подразделениями пожарной охраны формируется архитектура системы поддержки принятия решений, представлена на рис. 4.

Структура метода, представленная в работе [3], приведена на рис. 5.



Рис. 4. Архитектура системы поддержки принятия решений по управлению подразделениями пожарной охраны при тушении пожара (БД–база данных)

Для единичных показателей применимости тех или иных методов управления подразделениями пожарной охраны, в работе [3] был сформирован обобщенный показатель оценки.

Недостатки предложенной модели: невысокая точность, которая обуславливает невозможность применения на практике.

Для корреляции с практическими результатами представленную модель необходимо дополнить и учесть все факторы, влияющие на эффективность управления подразделениями пожарной охраны при выполнении тушения пожара.

В работе [4] представлена модель управления пожарно-спасательными подразделениями в виде сети Петри (рис. 6).

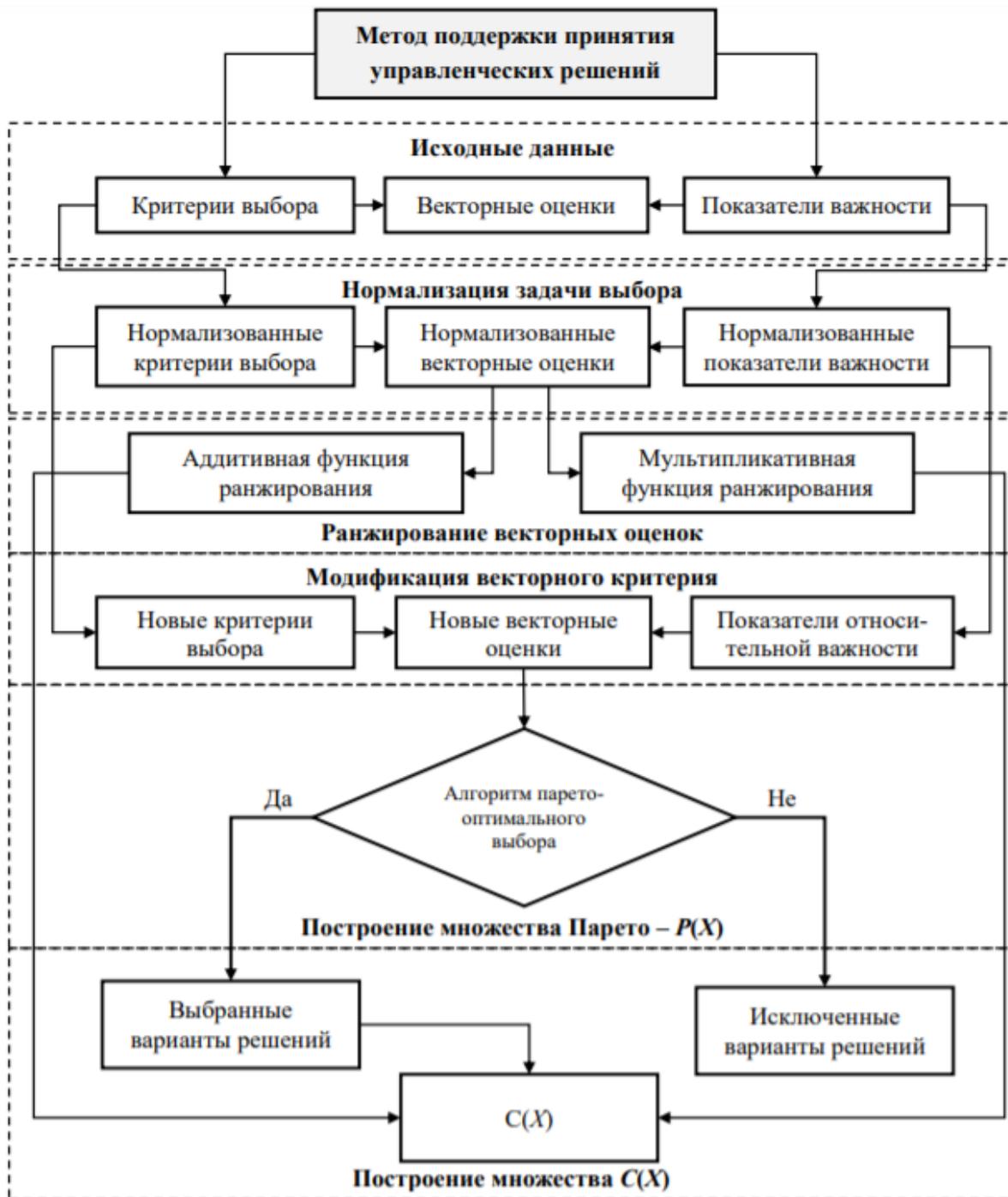


Рис. 5. Структура метода поддержки принятия решений на месте тушения пожара (P_x – множество Парето-оптимальных решений, C_x – множество вариантов решений)

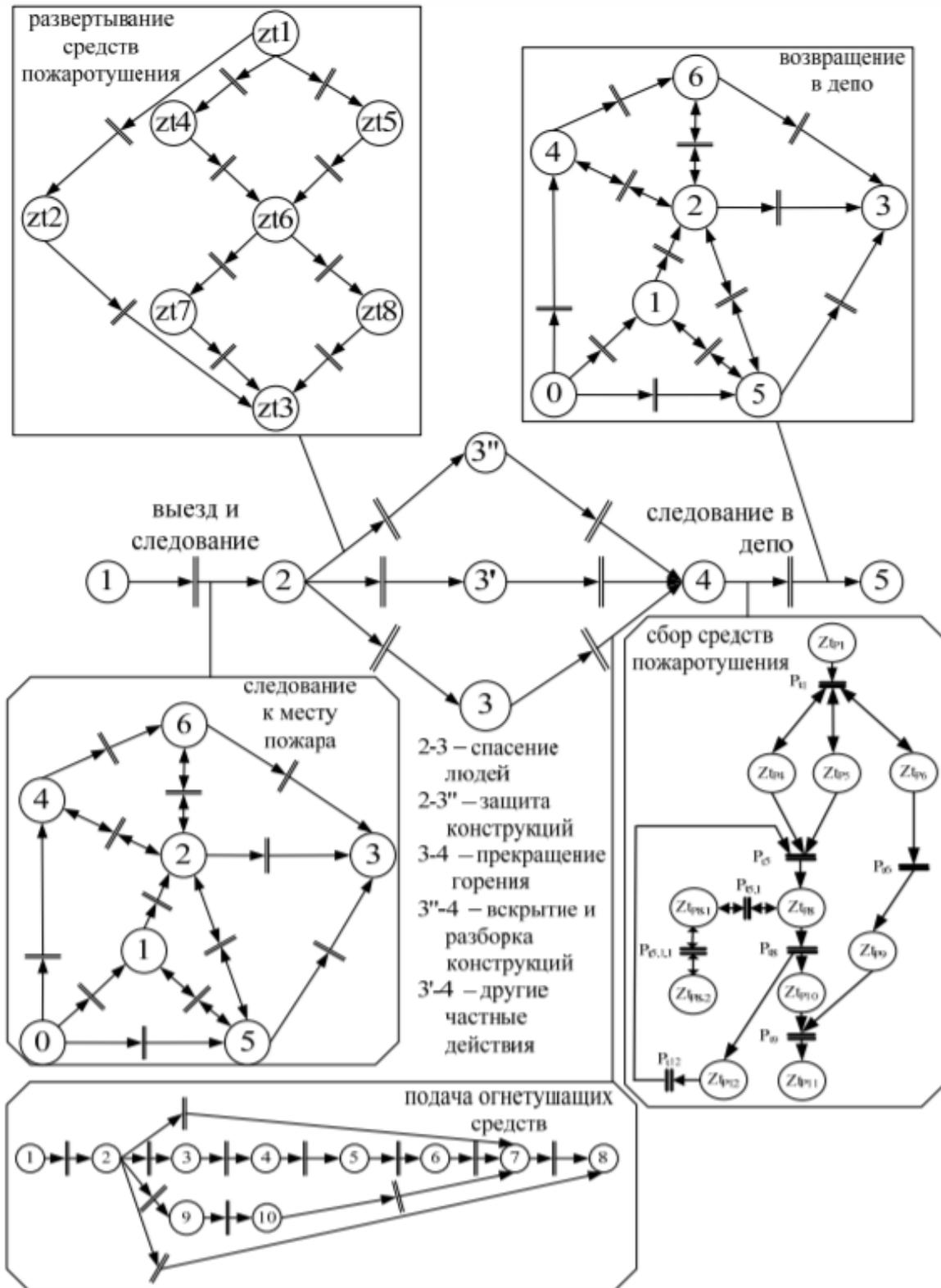


Рис. 6. Модель управления пожарно-спасательными подразделениями в виде сети Петри

Помимо этого, в работе разработана структура задач управления пожарно-спасательными подразделениями и принятия решений по времени и месту (рис.7).

Блок-схема поддержки принятия управленческого решения о достаточности сил и средств пожаротушения, представленная в [5], показана на рис. 8.

Однако модели, представленные в работе [4] недостаточно полно учитывают время подъезда подразделения пожарной охраны к месту пожара, что может говорить о недостаточной практической достоверности полученных результатов.

В работе [5] также показан алгоритм принятия решений по управлению пожарно-спасательными подразделениями с использованием СППР. Показано, что часто бывает полезно оценить эффективность. Во многих случаях такая оценка является относительной, то есть оценивается, какой из нескольких альтернативных вариантов лучше всего подходит для конкретного случая (рис. 9).

Недостатки предложенных решений работы [5]: слабая корреляция с практически результатами.

В работе [6] представлен анализ геоинформационных данных о следовании пожарных подразделений к месту тушения пожаров. Данная работа хорошо раскрывает вопро-

сы следования к пожару, однако не рассматривает алгоритмы управления тушением пожара при боевых действиях.

Таким образом, проведенным анализом рассмотренных источников по теме исследования позволяет установить, что к настоящему времени разработано множество алгоритмов и методов управления подразделениями пожарной охраны.

Однако все существующие алгоритмы несовершенны с точки зрения возможности практического применения полученных результатов.

Некоторые из алгоритмов основаны на использовании систем поддержки принятия решений, некоторые – на основании использования современных технологий и программных систем, которые позволяют анализировать опыт предыдущего управления и вносить изменения.

Многие исследования направлены на уменьшение и прогнозирования времени прибытия пожарно-спасательного подразделения к месту следования, однако недостаточно полно раскрывают управление подразделениями непосредственно во время тушения пожара, тогда как другие исследования полно раскрывают вопросы непосредственного тушения, но не учитывают время следования.

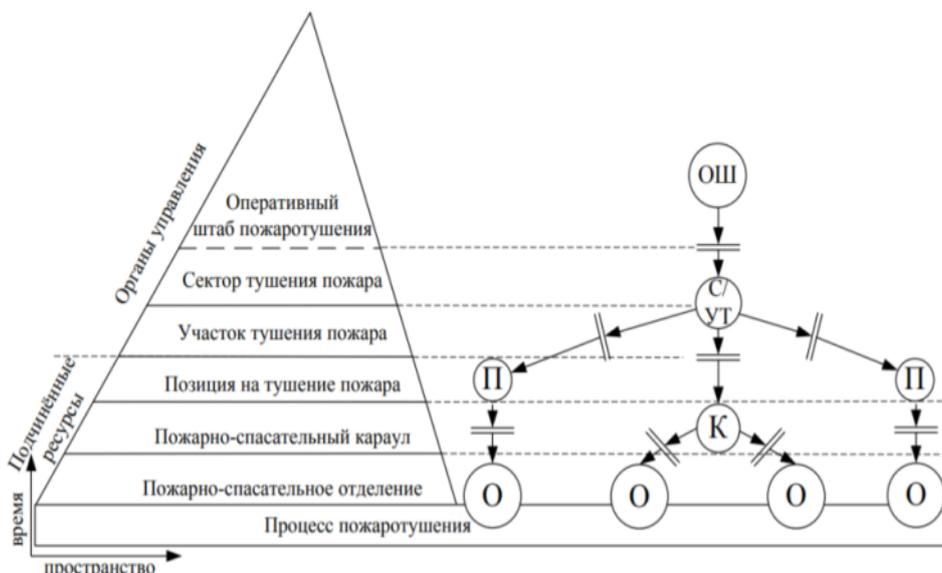


Рис. 7. Структура задач управления подразделениями пожарной охраны и принятия решений по времени и месту (ОШ – оперативный штаб пожаротушения, С/УТ – сектор/участок тушения пожара, П – позиция на тушение пожара, К – пожарно-спасательный караул, О – пожарно-спасательное отделение)



Рис. 8. Блок-схема поддержки принятия управленческого решения о достаточности сил и средств пожаротушения

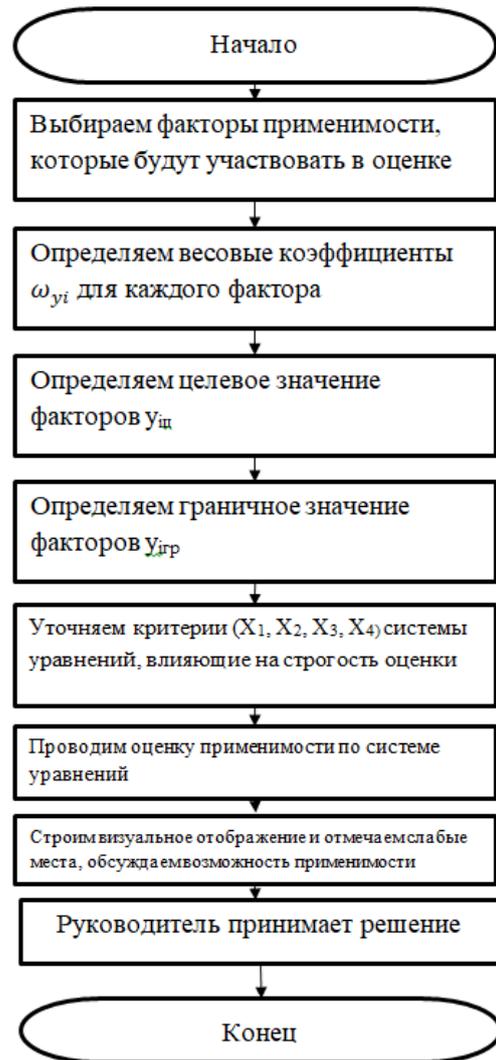


Рис. 9. Алгоритм управления пожарно-спасательными подразделениями [6]

Все вышеперечисленное указывает на то, что ранее представленные исследования не будут достаточно эффективными при практическом применении, что говорит о необхо-

димости совершенствования методов и алгоритмов и максимальной их адаптации к практической задаче управления.

Список литературы

1. Кимстач И. Я., Девлицев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика. М.: Стройиздат, 1984. 590 с.
2. Денисов А. Н., Данилов М. М., Гундар С. В. Организация тушения пожаров и подготовки пожарно-спасательных гарнизонов: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. 127 с.
3. Expertenmeinungen zu notwendigen künftigen Entwicklungen im Bereich «Atem-

- schutzinsatz im Innenangriff samt Branddienst-Ausbildung», Österreich 2010. 92 seite.
4. Управление силами и средствами пожарных подразделений (Принятие решений): методические указания по выполнению контрольной работы / А. Н. Денисов [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 31 с.
5. Slaby C., Wibel A. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg, Bruchsal, 2012. 22 p.

6. Сибиряков М. В. Анализ геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 6. С. 214–221.

References

1. Kimstach I. Ya., Devlishchev P. P., Evtyushkin N. M. *Pozharnaya taktika* [Fire tactics]. M.: Stroyizdat, 1984, 590 p.

2. Denisov A. N., Danilov M. M., Gundar S. V. *Organizatsiya tusheniya pozharov i podgotovki pozharno-spasatel'nykh garnizonov: uchebnoe posobie* [Organization of fire fighting and training of fire and rescue garrisons: a textbook]. M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2020, 127 p.

3. Expertenmeinungen zu notwendigen künftigen Entwicklungen im Bereich «Atem-

schutzinsatz im Innenangriff samt Branddienst-Ausbildung», Österreich 2010, 92 seite.

4. *Upravlenie silami i sredstvami pozharnykh podrazdeleniy (Prinyatie resheniy): metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu kontrol'noy raboty* [Managing the forces and means of fire departments (Decision making): guidelines for the implementation of control work] / A. N. Denisov [et al.] M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2016, 31 p.

5. Slaby C., Wibel A. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg, Bruchsal, 2012, 22 p.

6. Sibiriyakov M. V. Analiz geoinformatsionnykh dannyykh o sledovanii pozharno-spasatel'nykh podrazdeleniy k mestam ekstrennykh vyzovov [Analysis of geoinformation data on the movement of fire and rescue units to places of emergency calls] [Elektronnyy resurs] / *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2016, issue 6, p. 214–221.

Мареев Михаил Александрович

Главное управление пожарной охраны МЧС России
Российская Федерация, г. Москва
старший инспектор

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Mareev Mikhail Alexandrovich

Fire Main Office EMERCOM of Russia
Russian Federation, Moscow
Chief Inspector

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Денисов Алексей Николаевич

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры

E-mail: dan_aleks@mail.ru

Denisov Alexey Nikolaevich

Academy of the state service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department

E-mail: dan_aleks@mail.ru

УДК 004.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

А. А. МУРЗИН¹, Н. А. САФРОНОВ², А. В. СМИРНОВ²

¹ Главное управление МЧС России по Астраханской области,
Российская Федерация, г. Астрахань

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

E-mail: nikolaysafronov98@yandex.ru, info@mail.30.mchs.gov.ru, a_smirnov8@mail.ru

Пожары на промышленных предприятиях являются существенной угрозой стабильному развитию экономики Российской Федерации. При этом в случае пожаров на объектах основной убыток обусловлен косвенными потерями и как следствие снижением прироста экономического потенциала страны. По этой причине на предприятиях особую значимость принимают вопросы профилактики возникновения пожара и создания благоприятных условий для их тушения в начальной стадии. Для решения данной задачи промышленные объекты оборудуют развитыми системами противопожарной защиты (СППЗ). Стоит отметить, что эффективность СППЗ тем выше, чем выше надёжность и работоспособность её отдельных подсистем. Мониторинг надёжности и работоспособности подсистем СППЗ в зданиях промышленных предприятий осуществляют в процессе повседневного функционирования системы основываясь на методах наблюдения за техническим состоянием. Однако практика борьбы с пожарами показывает достаточно низкую результативность профилактических мероприятий. В данном направлении сложилось два основных вида практических задач: 1 – мониторинг отказов СППЗ; 2 – реализация профилактических мероприятий, направленных на исключение возникновения отказов. Первому направлению уделено достаточное количество научных разработок [1-2], второму же направлению необоснованно определена второстепенная роль.

В данной работе с целью реализации профилактических мероприятий по исключению отказов СППЗ предложена информационная система, включающую три основные функции: моделирование процедуры принятия решений для планирования мероприятий по обслуживанию СППЗ, адаптация теоретических результатов моделирования под фактическую структуру СППЗ предприятия и как следствие, рациональное управление техническим обслуживанием СППЗ промышленных предприятий.

Работа выполнена при поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» договор (соглашение) № 15620ГУ/2020.

Ключевые слова: планирование мероприятий, техническое обслуживание, система противопожарной защиты.

STUDY OF THE DECISION-MAKING PROCEDURE FOR PLANNING THE MAINTENANCE OF THE FIRE PROTECTION SYSTEM

A. A. MURZIN¹, N. A. SAFRONOV², A. V. SMIRNOV²

¹ Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations for the Astrakhan Region,
Russian Federation, Astrakhan

² Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Moscow

E-mail: nikolaysafronov98@yandex.ru, info@mail.30.mchs.gov.ru, a_smirnov8@mail.ru

Fires in industrial enterprises are a significant threat to the stable development of the economy of the Russian Federation. At the same time, in the case of fires at facilities, the main loss is due to indirect losses and, as a consequence, a reduction in the growth of the country's economic potential. For this reason, questions of fire prevention and creation of favorable conditions for their extinguishing at the initial stage take on special significance at the enterprises. To solve this problem, the industrial objects are equipped with advanced fire-prevention systems (SPPP). It is worth noting that the efficiency of SFPP is the higher the higher

the reliability and operability of its individual subsystems. The monitoring of reliability and operability of subsystems SPPZ in the buildings of industrial enterprises is carried out in the process of daily operation of the system based on the methods of observation of technical condition. However, the practice of firefighting shows rather low effectiveness of preventive measures. There are two main types of practical tasks in this direction: 1 - monitoring of failures of SPSS; 2 - implementation of preventive measures aimed at elimination of occurrence of failures. The first direction is given a sufficient quantity of scientific work [1-2], the second direction is unreasonably defined as a secondary role.

In this paper, in order to implement preventive measures to eliminate failures of SKFZ, an information system is proposed, which includes three main functions: modeling decision-making procedure for planning measures for SKFZ maintenance, adaptation of theoretical results of modeling to the actual structure of SKFZ enterprise and as a result, rational management of SKFZ maintenance of industrial enterprises.

Key words: event planning, maintenance, fire protection system.

Постановка задачи исследования

Техническое обслуживание подсистем систем противопожарной защиты **систем противопожарной защиты (СППЗ)**, проводимое с целью их поддержания в течении всего срока эксплуатации в работоспособном и исправном состоянии, обеспечивается следующими показателями, имеющими количественные оценки:

- показатель мониторинга технического состояния подсистем СППЗ;

- количественный показатель оценки соответствия подсистем СППЗ меняющимся во времени их эксплуатации требованиям технической документации;

- показатель мониторинга неблагоприятных климатических, производственных и иных условий, влияющих на эффективность состояния подсистем СППЗ;

- показатель, направленный на выявление и устранение случаев ложного срабатывания;

- показатель оценки предельного состояния подсистем СППЗ и принятия решений по возможности их дальнейшего практического применения;

- показатель мониторинга данных о техническом состоянии подсистем СППЗ в режиме реального времени.

Поэтому процесс принятия решений по обслуживанию элементов системы противопожарной защиты включает в себя следующие мероприятия:

- выполнение плановых, внеплановых (в случае выявления отказов или ложных извещений о пожаре), профилактических осмотров и дальнейших работ по проверке эффективности работоспособности установок;

- выявление неисправностей, рекламация и оперативное их устранение при дальнейшем текущем ремонте;

- определение условий для более оптимальной эксплуатации установок с учётом процессов, происходящих в защищаемом от

пожара помещении здания.

Таким образом, наличие нескольких показателей предпочтительности подсистем СППЗ, их внутренняя противоречивость и количественные шкалы измерений позволяют поставить научную задачу, состоящую в разработке многокритериальной математической модели ранжирования для поддержки принятия решений по техническому обслуживанию подсистем СППЗ с целью создания информационно-аналитической системы.

В соответствии с требованиями эксплуатационной документации на технические средства обслуживаемых подсистем СППЗ, периодичность технического обслуживания подсистем СППЗ предприятия с целью оптимального выполнения мероприятий должна быть установлена, как правило, в период завершения и приёмки монтажных и наладочных работ.

Математическая модель принятия решений

Принятие решений по планированию обслуживания СППЗ предприятия должно основываться и проводиться с учётом периодичности выполнения мероприятий, установленной техническим регламентом, определенном законодательством. План проведения технического обслуживания СППЗ, реализованной на предприятии, должен включать наименование мероприятий и процедур по техническому обслуживанию, а также действий по поддержке в состоянии работоспособности специального программного обеспечения. Таким образом, для каждого мероприятия по техническому обслуживанию должен быть установлен приоритет (важность) его выполнения, а последовательность выполнения мероприятий должна быть организована на основе следующего принципа: действовать от более предпочтительных мероприятий к менее предпочтительным. То есть при построении плана технического обслуживания необходимо анализиро-

вать как минимум две группы важности мероприятий: A – более важные мероприятия; B – менее важные мероприятия.

Математическая модель для планирования последовательности выполнения мероприятий по техническому обслуживанию подсистем системы противопожарной защиты предприятия включает в себя следующие множества:

- множество мероприятий $x_i \in X, i=1, 2, \dots, n, n \geq 2$;

- множество показателей результативности, используемых для оценки мероприятий $f_i \in F, i=1, 2, \dots, m, m \geq 2$;

- множество векторных оценок предпочтительности мероприятий по техническому обслуживанию:

$$F(X) = f_1(X) \times f_2(X) \times \dots \times f_m(X),$$

где $f_i(X)$ – множество значений показателя результативности с номером i на множестве мероприятий $x_i \in X$;

- формальное отношение предпочтения между мероприятиями по обслуживанию задается следующими высказываниями:

- $x' > x$ мероприятие x' предпочтительнее мероприятия x ;

- $x' \approx x$ мероприятие x' равно по предпочтению мероприятию x .

Допустимое линейное положительное преобразование над значениями показателей результативности мероприятий:

$$\varphi(F(x_i)) = \alpha_i F(x_i) + c_i,$$

где $\alpha_i > 0$ и c_i – положительные числа.

Данная модель является теоретической основой методов моделирования процедур распределения ресурсов в системе противопожарной защиты промышленных предприятий [5-8].

На основе предложенной модели проведена разработка алгоритма оценки предпочтительности мероприятий технического обслуживания СППЗ.

В соответствии с моделью процедуры планирования мероприятий по обслуживанию подсистем СППЗ разделим набор функций подсистем F по группам A, B . В группу A входят мероприятия f из F множество номеров из группы A обозначенных далее I_A , а количество мероприятий в исходном множестве a . В группу B входят мероприятия f из F множество номеров из группы B обозначим – I_B , а количество мероприятий в группе B соответственно b .

Предпочтительность мероприятий будем оценивать экспертным методом с использованием коэффициентов относительной важности θ_{ij} , предполагающих количественную оценку превосходства в важности мероприятия с номером i (из группы A) над мероприятием с номером j (из группы B). Обозначим сумму всех коэффициентов важности с номерами i как $\theta_i = \sum_{j=1}^b \theta_{ij}$ и с номерами j $\theta_j = \sum_{i=1}^a \theta_{ij}$.

Тогда предпочтительность мероприятий по обслуживанию СППЗ из группы A, B (ω_i, ω_j) будет рассчитана по следующим формулам:

- для всех мероприятий с номерами $i \in I_A$:

$$\omega_i = \frac{\theta_i}{ab}; \tag{1}$$

- для всех мероприятий с номерами $j \in I_B$:

$$\omega_j = \frac{a-\theta_j}{ab}, \tag{2}$$

где $\theta_i = \sum_{j=1}^b \theta_{ij}, \forall j \in I_B$ и $\theta_j = \sum_{i=1}^a \theta_{ij}, \forall i \in I_A$.

Для реализации данного алгоритма необходимо распределить мероприятия по группам A и B и произвести сравнение каждого мероприятия из группы A с каждым мероприятием из группы B по вербальной шкале, связанной с базой данных о результативности мероприятий из метода оценки уровня противопожарной защиты предприятий.

Таблица. Вербальная шкала высказываний эксперта при сравнении объектов системы управления

Высказывания	Прямое	Обратное
O_i равны по важности O_j	0	0
O_i немного важнее O_j	2	-2
O_i важнее O_j	4	-4
O_i существенно важнее O_j	6	-6
O_i много важнее O_j	8	-8
O_i бесконечно важнее O_j	10	-10

На втором этапе по данным матрицы Z строится ненормализованная матрица предпочтений коэффициентов K_{ij} по формуле:

$$K_{ij} = \exp(-pZ_{ij}), \quad (3)$$

где p – параметр модели, p в рассматриваемом случае всегда равен 0,5; Z_{ij} – бальные значения высказываний.

Таким образом, разработанная модель позволяет на основе данных из метода оценки уровня противопожарной защиты предприятия установить предпочтительность мероприятий по обслуживанию СППЗ, которые в дальнейшем будут использованы при разработке **системы поддержки принятия решений (СППР)** для планирования мероприятий по обслуживанию подсистем СППЗ. В свою очередь эффективная практическая программная

реализация СППР предусматриваем разработку функциональной структуры, учитывающей специфику процедуры принятия решений.

Структура процедуры принятия решений

Функциональная структура СППР для планирования обслуживания подсистем СППЗ необходима для эффективного (радиального) разрешения возникновении конфликтной ситуации, связанной с распределением времени необходимого на выполнение всех предписанных мероприятий. Так на основе разработанной математической модели предложена процедура ранжирования мероприятий по распределению ресурсов при решении задач обслуживания на основе многоагентного подхода. Структура СППР математической модели принятия решений представлены на рисунке.

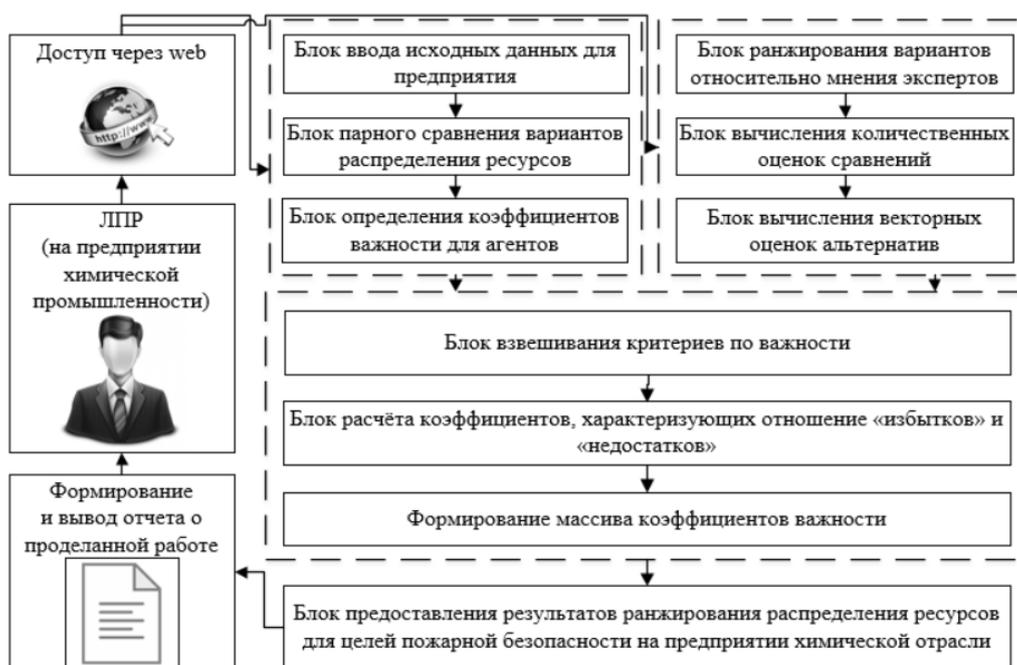


Рисунок. Функциональная схема алгоритма

Структура разработана по децентрализованному принципу, представляя систему в целом как совокупность отдельных модулей (блоков):

1. Модуль ввода данных: производится выбор мероприятий и оценок их результативности с использованием базы данных метода оценки уровня противопожарной защиты.

2. Модуль определения коэффициентов важности для мероприятий по разработанной модели принятия решений. По результа-

там парных сравнений производится распределение мероприятий по группам А и В для расчёта коэффициентов важности.

3. Модуль ранжирования по предпочтительности мероприятий по обслуживанию СППЗ. В модуле проводится расчёт оценок мероприятий, на основе полученных в модуле 2 значений.

4. Модуль взвешивания мероприятий по важности. Здесь производится взвешивание мероприятий по обслуживанию СППЗ по важ-

ности, производится расчёт коэффициентов.

5. Модуль формирования базы данных коэффициентов важности мероприятий с учётом оценок их результативности. На основании проведённых расчётов формируется массив коэффициентов важности.

6. Модуль предоставления результатов планирования мероприятий по обслуживанию СППЗ.

В работе [9] было показано, что применение многоагентного подхода по отношению к методу "прямого перебора" при управлении пожарной безопасностью промышленных предприятий при количестве подсистем в СППЗ более 4-х позволит повысить эффективность управления в части принятия решений на 20 %.

Обсуждение и оценка результатов исследования

Для количественной оценки возможности эффекта от развития первого и второго вида задач повышения надёжности системы противопожарной защиты выполним статистический анализ практических случаев работы отдельной подсистемы СППЗ – **автоматической пожарной сигнализации (АПС)**. Данная подсистема является наиболее важной в общей системе противопожарной защиты, так как предназначена для идентификации факта воз-

никновения пожара и передачи сигнала для инициализации другими подсистемами.

Так, основываясь на результатах мониторинга функционирования систем автоматической пожарной сигнализации [3, 4], в период с 1993 по 2017 годы (25 лет) можно заключить: в рассматриваемый период произошло 3834 пожаров в промышленных зданиях СППЗ, в составе которых имелась АПС. Анализ результатов функционирования показал, что из общего числа пожаров АПС задачу по обнаружению пожара выполнила в 2493 случаях, задачу не выполнила или не сработала в 960 случаях, и в 381 случае на момент возникновения пожара АПС была выключена.

В оптимистическом прогнозе можно утверждать, что развитие системы планирования мероприятий по обслуживанию АПС может привести к улучшению ситуации с функционированием СППЗ на 25 %, исключив случаи пожаров, когда АПС не сработала и задачу по предназначению не выполнила, но здесь все же стоит отметить, что направление развития системы мониторинга работоспособности АПС, обуславливающего улучшение ситуации с функционированием АПС на 10 %, только за счёт исключения случаев, когда на момент возникновения пожара в промышленном здании АПС не была включена.

Список литературы

1. Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Михайлов К. А. Теоретические основы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании: Монография / Под общей редакцией д-ра техн. наук, профессора Н. Г. Топольского. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. 320 с.

2. Бутко В. С., Зыков В. И. Беспроводной мониторинг обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений критически важных объектов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 2. С. 6–15.

3. Зыков В. И., Манило И. И., Журавлёв Д. Е. Математическая модель системы пожарного мониторинга объектов энергетики // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2019. Материалы III международной научно-практической конференции. 2019. С. 96–105.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2017663753. Программное обеспечение для мониторинга состояния беспроводной адресной системы пожарной сигнализации и пожа-

ротушения «ГАРАНТ-Р» / М. А. Мацук, Е. С. Варламов, А. М. Мацук [и др.]. Заявка № 2017660651 от 23.10.2017.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614314. Метод оценки уровня пожарной опасности промышленных предприятий / Н. Г. Топольский, А. П. Баранов, Д. В. Тараканов. Заявка от 13.03.2014.

6. Смирнов А. В., Хабибулин Р. Ш., Тараканов Д. В. Применение многоагентного подхода для поддержки управления безопасностью в техносфере // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 1. С. 118–133. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.

7. Смирнов А. В., Хабибулин Р. Ш., Тараканов Д. В. Многоагентный метод анализа вариантов распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности // Системы управления и информационные технологии, 2018. № 4 (74). С. 83–88.

8. Smirnov A., Khabibulin R., Topolski N., Tarakanov D. Multi-Agent Analysis Model of Resource Allocation Variants To Ensure Fire Safety // Proceedings of the 21 International Conference on Enterprise Information Systems, Heraklion,

Greece, May 3-5, 2019, pp. 379–386.

9. Смирнов А. В. Оценка эффективности многоагентной системы распределения ресурсов для управления пожарной безопасностью предприятий химической отрасли // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1 (30). С. 24–29.

References

1. Topol'skiy N. G., Tarakanov D. V., Mikhaylov K. A. *Teoreticheskiye osnovy podderzhki upravleniya pozharnymi podrazdeleniyami na osnovе monitoringа dinamiki pozhara v zdanii: Monografiya* [Theoretical foundations for supporting the management of fire departments based on monitoring the dynamics of a fire in a building: Monograph] / Pod obshchey redaktsiyey d-ra tekhn. nauk, professora N. G. Topol'skogo. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2019, 320 p.

2. Butko V. S. Besprovodnoj monitoring obespecheniya pozharnoj bezopasnosti zdaniy i so-oruzhenij kriticheski vazhnyh ob"ektov [Wireless monitoring of fire safety of critical buildings and structures]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya*, 2020, issue 2. pp. 6–15.

3. Zykov V. I. Matematicheskaya model' sistemy pozharnogo monitoringа ob"ektov energetiki [Mathematical model of a fire monitoring system for energy facilities]. *Bezopasnost' zhiznedeya-tel'nosti: problemy i resheniya – 2019. Materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2019, pp. 96–105.

4. Macuk M. A., Varlamov E. S., Matsuk A. M. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RU 2017663753. Programmnoe obespechenie dlya monitoringа sostoyaniya besprovodnoj adres-noj sistemy pozharnoj signalizatsii i pozharotusheniya «GAR-

ANT-R» [Software for monitoring the status of the GARANT-R wireless addressable fire alarm and extinguishing system] *Zayavka № 2017660651 ot 23.10.2017*.

5. Topol'skiy N.G. Metod ocenki urovnya pozharnoj opasnosti promyshlennyh predpriyatij [Method for assessing the fire risk level of industrial plants] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy-registratsii programmy dlya EVM RU № 2014614314*.

6. Smirnov A. V. Primenenie mnogoagentnogo podhoda dlya podderzhki upravleniya bezopasno-st'yu v tekhnosfere [Applying a multi-agent approach to support safety management in the technosphere]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, vol. 22, issue 1, pp. 118–133. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.

7. Smirnov A. V. Mnogoagentnyj metod analiza variantov raspredeleniya resursov dlya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti [Multi-agent method for analysis of resource allocation options for fire safety]. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*, vol. 4 (74), 2018, pp. 83–88.

8. Smirnov A., Khabibulin R., Topolski N., Tarakanov D. Multi-Agent Analysis Model of Resource Allocation Variants To Ensure Fire Safety // *Proceedings of the 21 International Conference on Enterprise Information Systems, Heraklion, Greece, May 3–5, 2019*, pp. 379–386.

9. Smirnov A. V. Ocenka effektivnosti mnogoagentnoj sistemy raspredeleniya resursov dlya upravleniya pozharnoj bezopasnost'yu predpriyatij himicheskoy otrasli [Assessing the effectiveness of a multi-agent resource allocation system for fire safety management in the chemical industry] *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, vol. 1 (30), 201, p. 24–29.

Мурзин Алексей Александрович

Главное управление МЧС России по Астраханской области,

Российская Федерация, г. Астрахань

Начальник Главного управления МЧС России

E-mail: info@mail.30.mchs.gov.ru

Murzin Alexei Alexandrovich

Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Astrakhan region

Russian Federation, Astrakhan

head of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia

E-mail: info@mail.30.mchs.gov.ru

Сафронов Николай Алексеевич

Академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

адъюнкт

E-mail: nikolaysafronov98@yandex.ru

Safronov Nikolay Alekseevich

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
Russian Federation, Moscow
postgraduate student
E-mail: nikolaysafronov98@yandex.ru

Смирнов Андрей Владимирович

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: a_smirnov8@mail.ru

Smirnov Andrey Vladimirovich

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
Russian Federation, Moscow
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: a_smirnov8@mail.ru

**ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY (TECHNICAL)**

УДК 614.841.4:539

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ВОДНОГЕЛЕВЫХ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ В УСЛОВИЯХ ЛИКВИДАЦИИ
ГОРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ КОМПОНЕНТОВ**

Т. С. ВОРОНЦОВ¹, А. В. ИВАНОВ²

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

² Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: taras.chek@yandex.ru, 89052070791@mail.ru

Пожары промышленных взрывчатых веществ и их компонентов характеризуются высокой температурой, стремительным распространением, проявлением опасных факторов взрыва. Тушение пожаров подобного класса веществ традиционными огнетушащими веществами имеет ряд недостатков, таких как отсутствие возможности подачи огнетушащих веществ с безопасного расстояния, недостаточная адгезия к объекту тушения, ограниченная возможность вытеснения кислорода и флегматизация горения в замкнутых помещениях при тушении пожаров веществ класса 5.1. В связи с перечисленными недостатками, существует необходимость в получении огнетушащих составов с оптимальными свойствами для целей пожаротушения промышленных взрывчатых веществ и их компонентов. В ходе экспериментальных исследований выявлено снижение скорости нагрева огнетушащих составов до 75 %, увеличение времени тепловой защиты компонента промышленного взрывчатого вещества до 19 % в сравнении с контрольным образцом.

Ключевые слова: суспензии, компоненты промышленных взрывчатых материалов, тепловая защита, реологические свойства, пожаротушение, гель.

**STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER-GEL FIRE
EXTINGUISHING COMPOSITIONS UNDER THE CONDITIONS OF COMBUSTION
ELIMINATION OF INDUSTRIAL EXPLOSIVES AND THEIR COMPONENTS**

T. S. VORONTSOV¹, A. V. IVANOV²

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 St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations
of Russia named after the Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinicheva,
Russian Federation, St. Petersburg
E-mail: taras.chek@yandex.ru, 89052070791@mail.ru

Fires of industrial explosives and their components are characterized by high temperature, rapid spread, manifestation of explosion hazards. Extinguishing fires of this class of substances with traditional extinguishing agents has a number of disadvantages, such as the lack of the possibility of supplying extinguishing agents from a safe distance, insufficient adhesion to the extinguishing object, limited oxygen displacement and phlegmatization of combustion in confined spaces when extinguishing fires of substances of Class 5.1. Due to the listed disadvantages, there is a need to obtain fire extinguishing compounds with opti-

mal properties for the purposes of extinguishing industrial explosives and their components. In the course of experimental studies, a decrease in the heating rate of fire extinguishing compounds up to 75%, an increase in the thermal protection time of an industrial explosive component up to 19% in comparison with the control sample was revealed.

Key words: suspensions, components of industrial explosives, thermal protection, rheological properties, fire extinguishing, gel.

Введение

Промышленные взрывчатые вещества (далее – ПВВ) широко используются во многих отраслях промышленности, при добыче полезных ископаемых, строительстве [1], в специализированных службах [2]. В связи с потребностью в подобных веществах, объем производства компонентов ПВВ за 10 лет с начала XXI века увеличился более чем в 2 раза и составляет около 1,5 млн. т. в год, из которых более 80 % изготавливается на местах применения, остальные 20 % перевозятся различными видами транспорта [1].

Наибольшую опасность ПВВ и их компоненты представляют при транспортировке к местам изготовления и применения, ввиду расположения транспортных путей вблизи населенных пунктов либо через них. Для доставки используются преимущественно железнодорожный, автомобильный и водный транспорт. При возникновении аварийных ситуаций и пожаров возможен переход пламени на ПВВ и их компоненты, что приводит к дефлаграционному горению или детонации [3].

С начала XXI века в мире произошло не менее 50 крупных инцидентов с общим количеством погибших свыше 1 тыс. человек и пострадавших более 20 тыс. человек. Ущерб от данных инцидентов¹ составил не менее 1,3 триллиона рублей [3–7].

В условиях развития пожара ПВВ и их компонентов на объектах транспорта необходима оперативная ликвидация возгораний и защита потенциально опасных материалов от воздействия теплового потока, разлета нагретых осколков.

Одним из компонентов ПВВ являются окисляющие вещества, такие как нитрат аммония (аммиачная селитра), нитрат калия (калийная селитра), персульфаты щелочных металлов. Для тушения пожаров ПВВ и их компонентов традиционно применяют воду, воздушно-механическую пену (далее – ВМП), инертные газы (CO_2) [8]. Применение огнетушащих веществ (далее – ОТВ) зависит от свойств

транспортируемого груза, вида транспорта, способа транспортировки и накладывает ограничения на их применение. Так, использование инертных газов для ликвидации пожара опасных веществ класса 5.1 в трюме грузового судна не приведет к ожидаемому результату, ввиду возможности образования взрыва после задривания люков и шлюзов [8]. Тушение пожаров с участием окисляющих веществ таких как нитрат аммония водой может сопровождаться детонацией [7]. Кроме того, при выборе ОТВ нельзя исключать ложные срабатывания автоматических систем пожаротушения, в результате которых транспортируемый груз придет в негодность.

В настоящее время актуальной целью является выбор огнетушащих веществ с наиболее оптимальными эксплуатационными характеристиками. Одним из способов повышения эксплуатационных характеристик ОТВ является модифицирование составов, используемых пожарно-спасательными подразделениями. Вода выделяется среди прочих огнетушащих веществ доступностью, воздействием на процессы горения посредством нескольких механизмов тушения. В качестве модифицированных огнетушащих веществ возможно применение гелеобразующих составов на основе воды, которые отличаются повышенной теплоемкостью, высокой адгезией и безопасностью для человека и окружающей среды [13].

Водогелевые составы (далее – ВГС) являются бинарными системами, полимер-высокомолекулярными жидкостями, в которых образуется трехмерная полимерная сетка, имеющая свойства поглощать большое количество воды [12–14]. ВГС показали свою эффективность при тушении пожаров класса «А» [9,15], однако не нашли широкого применения при тушении ПВВ и их компонентов, ввиду недостаточной теоретической и экспериментальной проработки механизма воздействия ОТВ в зоне горения.

Целью исследования было определение физико-химических свойств и огнетушащих характеристик водогелевых огнетушащих составов применительно к задачам пожаротушения класса веществ 5.1.

¹ ГОСТ Р 54144-2010. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Идентификация инцидентов.

Материалы и методы исследований

В качестве исследуемых веществ были выбраны персульфат калия ($K_2S_2O_8$) и взрывоопасный компонент на основе дымного пороха [2].

Персульфат калия представляет собой мелкий кристаллический порошок белого цвета, соль щелочного металла калия и пероксодисерной кислоты, полученный методом электролитического окисления. Дымный порошок является компонентом изделий из пиротехники и огнепроводных шнуров. В состав дымного пороха входит 75 % калиевой селитры (нитрат калия, KNO_3), 15 % угля (С) и 10 % серы (S).

В качестве ОТВ использовался гидрогель на основе редкосшитого полимера акриловой кислоты (PAA) «Carborol EDT 2020» с концентрацией гелеобразующего компонента 0,125-2,0 масс.%. Составы получены по технологии, описанной в [9]. Водогелевые составы были получены путем суспендирования в воде порошкообразного полимера марки «Carborol EDT 2020» с последующим добавлением нейтрализующего агента (10 % водный раствор

гидроксида аммония), после чего смесь загустевает. Механизмом получения гидрогелей является свободнорадикальная полимеризация, при которой мономерные звенья соединяются в длинные цепи посредством двойных связей. Сшивающий агент, мономер с двумя или более двойными связями, обеспечивает сетчатую структуру полимера, соединяя длинные линейные цепи в этих полимеризациях. Гидрогелевые сетки, образованные из полиакриловой кислоты, обладают способностью поглощать воду во много раз больше своего веса и являются основой класса материалов, называемых суперабсорбентами. Абсорбирующая способность гелеобразователя связана с использованием воды для построения сети из редкосшитых полимеров акриловой кислоты и «свободной» воды, для заполнения формирующихся внутри сети ячеек [19]. В качестве контрольного образца использовалась водопроводная вода. Сводные данные об ОТВ, используемых в исследовании, приведены в табл.

Таблица. Сводные данные об огнетушащих составах, используемых в исследовании

Обозначение	Компоненты ОТВ		pH ОТВ
	Базовый компонент	Гелеобразователь CarborolEDT-2020 в концентрации	
Вода	водопроводная вода	-	6,5
ВГС-0,125	водный дистиллят	0,125 масс. %	9,1
ВГС-0,25	водный дистиллят	0,25 масс. %	6,4
ВГС-0,5	водный дистиллят	0,5 масс. %	5,7
ВГС-1	водный дистиллят	1 масс. %	6,2
ВГС-2	водный дистиллят	2 масс. %	5,9

В исследования применялись методы: определения скорости нагрева до температуры кипения водогелевых составов²; определения кинематической вязкости жидкости по методике, изложенной в ГОСТ^{3,4}; определения времени воспламенения взрывоопасного компонента на основе дымного пороха в условиях

тепловой защиты ВГС⁵; определения огнетушащей способности установки пожаротушения исследуемыми составами⁶.

Экспериментальная часть.
Определение скорости нагрева до температуры кипения

Скорость нагрева ОТВ демонстрирует прямую зависимость от концентрации гелеобразователя. Следует отметить, что ВГС с концентрацией гелеобразователя 0,125 масс.% продемонстрировал прирост

² ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

³ ГОСТ 10028-81. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия.

⁴ ГОСТ 33768-2015. Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей.

⁵ ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

⁶ ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная, огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

скорости нагрева в сравнении с контрольным образцом на 25 % (рис. 1). Последующее увеличение концентрации гелеобразующего компонента приводит к снижению скорости нагрева ОТВ. Образцы ВГС с концентрациями гелеобразователя 0,5...2,0 масс.% показали наименьшие значения скорости нагрева жидкости в сравнении с контрольным образцом. При кипении ВГС наблюдалась эффект кавитации в структуре вещества. Стоит отметить, что при исследовании воды пузыри имели диаметр 0,1...0,5 мм (рис. 2, а) кипение – преимущественно поверхностное пузырьковое; в гидрогелях диаметр пузырей составлял 10...30 мм. (рис. 2, б, в) кипение можно было охарактеризовать, как повехностное пузырьковое, с элементами пленочного.

Определение кинематической вязкости жидкости

Кинематическая вязкость огнетушащего вещества в зависимости от концентрации гелеобразователя имеет нелинейную зависимость. С увеличением концентрации гелеобразующего агента, увеличивается значение вязкости (рис. 3).

Для гидрогеля концентрацией 0,125 масс.% вязкость минимальна и равна 0,55 сП, что несколько меньше, чем исследуемые характеристики для водопроводной воды. Далее происходил рост исследуемых значений, и для ВГС с концентрацией 2,0 масс.% наблюдалось максимальное значение – 800,2 сП.

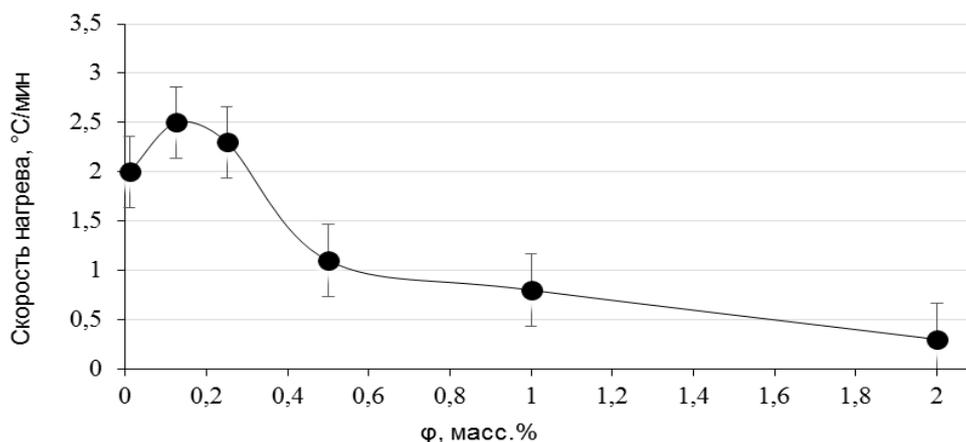


Рис. 1. Зависимость скорости нагрева от концентрации гелеобразователя



а) вода

б) ВГС 0,25 масс.%

в) ВГС 2,0 масс.%

Рис. 2. Зависимость характера кипения от концентрации гелеобразователя

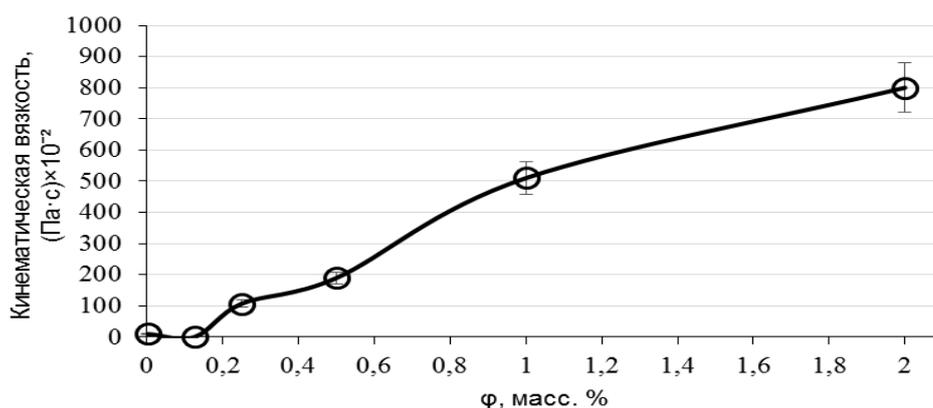


Рис. 3. Зависимость вязкости огнетушащего вещества от концентрации гелеобразователя

Определение времени воспламенения исследуемого материала в условиях тепловой защиты ВГС

Различные концентрации гелеобразователя в ВГС продемонстрировали изменение времени воспламенения компонента ПВВ в условиях тепловой защиты. Для контрольного образца время начала воспламенения минимально и составляет порядка 190 сек. При увеличении концентрации до 0,25 масс.% не

выявлено значительного изменения времени воспламенения. Однако при достижении концентрации гелеобразователя в жидкости до 0,5...1,0 масс.% наблюдалось увеличение времени начала воспламенения на 7–23 % в сравнении с контрольным образцом. При концентрации гелеобразователя 1,0 масс.% время начала воспламенения максимально и составляло около 234 сек. (рис. 4).

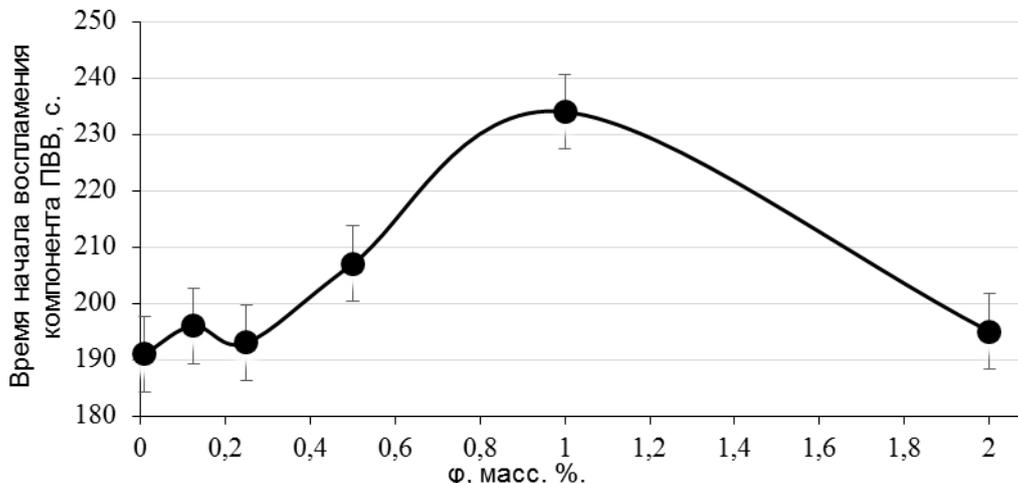


Рис. 4. Зависимость времени начала воспламенения персульфата калия в условиях тепловой защиты ВГС от концентрации гелеобразователя

Определение огнетушащей способности установки пожаротушения с ВГС

При подаче воды и ВГС 0,125 масс.% и 0,25 масс.% в течение первых 3 секунд наблюдался скачок температуры очага и значительное тепловыделение, сопровождающиеся характерными хлопками.

При подаче ВГС составов происходило снижение температуры в течение достаточно длительного промежутка времени (около 15 сек.) (рис. 5, а).

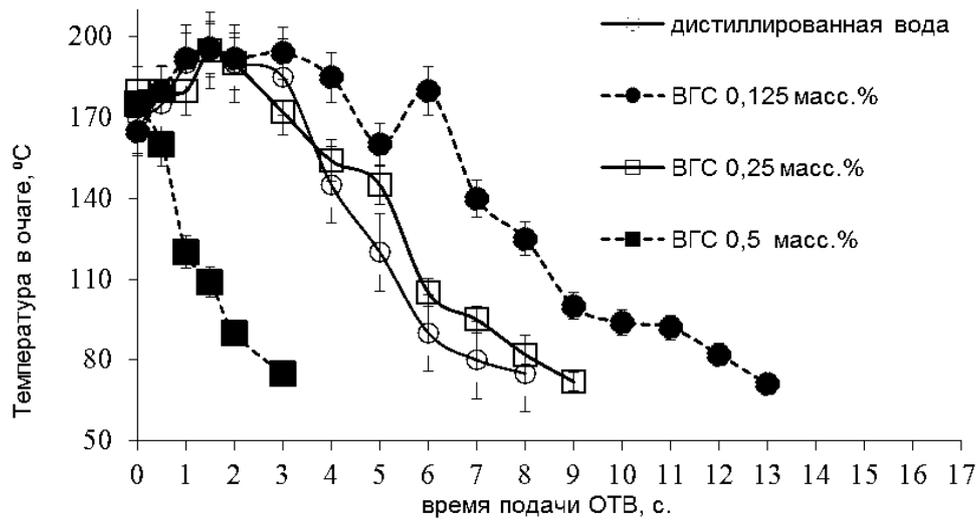
При подаче ВГС 0,5 масс.% наблюдалось резкое уменьшение температуры очага. При этом практически отсутствовали хлопки и в течение 3 секунд горения прекращалось. При подаче 1,0 масс.% и 2 масс.% наблюдалось снижение температуры очага, тепловыделение происходило менее интенсивно и достижение температуры 75-85°С проходило на 13 и 15 секунде соответственно (рис. 5, б).

Результаты и их обсуждение

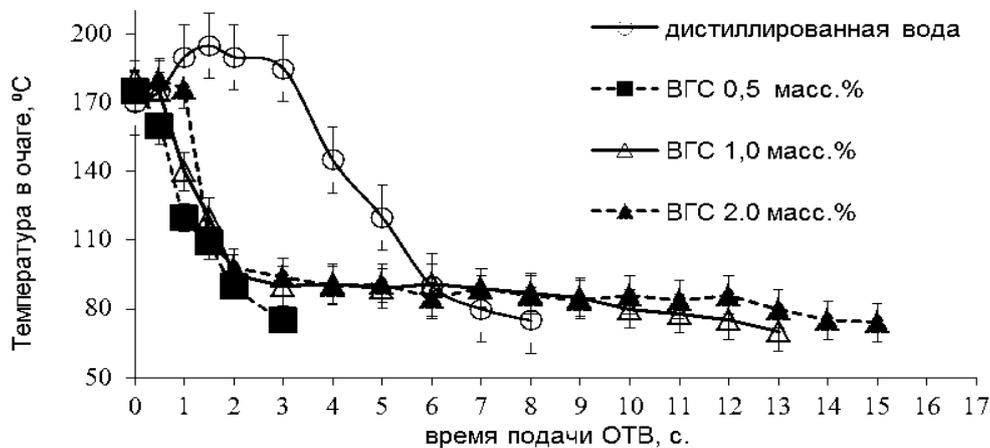
Результаты эксперимента позволяют предположить, что теплопередача от источника тепловой энергии к горючему осуществляется преимущественно посредством кондукции и конвекции. На границе разделения фаз теплопередача осуществлялась посредством теплопроводности, а при теплопередаче в жидкостях преобладал механизм конвекции. Результатом модифицирования воды явилось воздействие на процессы массообмена посредством полимеризации трехмерных структур РАП, и, как следствие, ограничение интенсивности конвекции. Характерным для исследуемых ОТВ являлось поверхностное пузырьковое кипение с проявлением пленочного кипения, что способствовало низкой интенсивности теплопередачи между обогреваемой твердой поверхностью и ОТВ [16–18].

В ходе экспериментов было выявлено, что для ВГС с концентрациями

гелеобразователя 0,125 масс.% и 0,2 масс.% наблюдался рост скорости нагрева на 25 % и 16 % соответственно. Затем, по мере увеличения концентрации гелеобразующего компонента наблюдалось снижение времени нагрева до температуры кипения на 84 %. Решающим фактором при теплопередаче посредством массообмена явилось увеличение адгезионных сил, ввиду значительного количества трехмерных полимерных структур при росте концентрации гелеобразователя. Следствием модифицирования воды явилось увеличение времени воспламенения компонентов ПВВ. Оптимальные теплозащитные характеристики продемонстрировал ВГС с концентрацией гелеобразователя 1,0 масс.%. При увеличении концентрации гелеобразователя наблюдался эффект накопления тепла в объеме ОТВ и низкое теплоотведение посредством испарения, за счет чего уменьшалось время воспламенения компонента ПВВ.



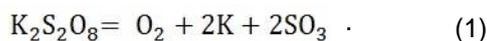
а)



б)

Рис. 5. Зависимость температуры в очаге от времени подачи ОТВ при различных концентрациях гелеобразователя

При исследовании огнетушащих характеристик при пожаротушении компонентов ПВВ зона горения располагалась на поверхности горючей нагрузки. Механизм горения представлял собой разогрев персульфатов до выделения горючих газов, поступающих в зону горения для экзотермической реакции. Огнетушащие составы подавались методом распыления над зоной горения. При этом преобладали механизмы тушения охлаждение зоны горения и разбавление горючей газовой смеси. При использовании воды объем ОТВ, который не испарился, за счет низкого поверхностного натяжения проникал вглубь горючей нагрузки. При увеличении концентраций гелеобразователя происходило увеличение поверхностного натяжения жидкости, при подаче в очаг горения часть объема, который не испарился, осаждался на поверхности горючей нагрузки и увеличивалась площадь взаимодействия ОТВ с зоной горения. Характерные хлопки при тушении водой вероятно вызваны ее взаимодействием с калием, образующимся в результате реакции термического разложения:



Дополнительно следует отметить низкую теплопроводность модифицированных ОТВ, в результате чего слой ВГС изолировал поверхность горючей нагрузки от теплопере-

дачи из зоны горения. При дальнейшем увеличении концентраций наблюдалось ухудшение огнетушащих характеристик составов. Предположительно, это связано с высоким поверхностным натяжением исследуемого вещества. Неиспарившиеся капли после распыла осаждались на поверхность горючей нагрузки и располагались обособленно. По результатам эксперимента была выявлена оптимальная концентрация гелеобразователя (0,5 масс.%). При данной концентрации неиспарившиеся капли распыла равномерно распределялись на поверхности, создавая при этом плотный теплоизоляционный слой, обеспечивающий сокращение времени ликвидации горения.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ВГС являются эффективными огнетушащими веществами при ликвидации возгораний компонентов ПВВ, с необходимыми для тепловой изоляции характеристиками. Для повышения эффективности установок тепловой защиты и для повышения скорости отвода тепла от поверхности нагрева могут использоваться методы изменения теплофизических характеристик ВГС. Предложенный метод и подача способом распыла позволяют значительно увеличить время тепловой защиты компонентов ПВВ при пожаре.

Список литературы

1. Stierstorfer J.; Klapötke T. M. High Energy Materials. Propellants, Explosives and Pyrotechnics. Angewandte Chemie International Edition. Vol. 122 (36), pp. 6391-6391. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201003666> (дата обращения: 13.12.2021).
2. Медведев Г. Н. Опыт применения взрывных технологий при проведении аварийно-спасательных работ // ВНИИ ГОЧС: комплексные решения проблем безопасности: (40-летию института посвящается): в 4 т. Сборник статей. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2016. С. 136–138.
3. A Review of Recent Accidents Involving Explosives Transport By Richard J. Mainiero and James H. Rowland III NIOSH, Pittsburgh Research Laboratory Pittsburgh, PA Proceedings of the 34th annual conference on explosives and blasting technique, January 27–30, 2008, New Orleans, Louisiana. Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers, 2008 Jan; is-

sue 2, pp. 1–12. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/8568> (дата обращения: 13.12.2021).

4. Zhao B. Facts and lessons related to the explosion accident in Tianjin Port, China. Nat Hazards 2016, issue 84, pp. 707–713. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2403-0> (дата обращения: 13.12.2021).

5. Guiochon G. On the catastrophic explosion of the AZF plant in Toulouse. AIChE Spring meeting and Global Congress on Process Safety. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee. 2012, vol. 39, issue 4, pp. 737–759. <https://doi.org/10.1002/prs.12197> (дата обращения: 13.12.2021).

6. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years / W. Pittman, Z. Han, B. Harding [et al.]. Journal of Hazardous Materials, 2014, vol. 280, pp. 472–477. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.037 (дата обращения: 13.12.2021).

7. Han Z., Pasman H. J., Mannan M. S. Extinguishing fires involving ammonium nitrate stock with water: Possible complications. Journal of Fire Sciences, 2017, vol. 35 (6), pp. 457–483.

<https://doi.org/10.1177/0734904117735264> (дата обращения: 13.12.2021).

8. Особенности пожаровзрывоопасных свойств аммиачной селитры, способы ее тушения и условия безопасного хранения / Л. П. Вогман, А. В. Ильичев, В. А. Зуйков [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2020. № 2 (4). С. 5–16. DOI 10.37657/vniipr.2020.4.2.001.

9. Гаджиев Ш. Г. Тактико-техническое обеспечение огнезащиты и тушения пожаров модифицированными водногелевыми составами на транспорте: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. СПб., 2018. 127 с.

10. Тактико-технические обоснование применения модифицированных водногелевых составов для тепловой защиты и тушения пожаров / Ш. Г. Гаджиев, А. В. Иванов, Г. К. Ивахнюк [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере: научно-аналитический журнал. 2016. № 3 (39). С. 51–60.

11. Гаджиев Ш. Г., Башаричев А. В., Ивахнюк Г. К. О возможности обеспечения тепловой защиты технологического оборудования и персонала с использованием водногелевых составов // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2013. Выпуск 3. С. 76–80.

12. Успенская М. В. Акриловые гидрогели в качестве полимерных связующих: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.06. СПб., 2009. 40 с.

13. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии. СПб.: Химия, 1995. 400 с.

14. Шелудко А. Коллоидная химия. М.: Мир, 1989. 320 с.

15. Андрушкин А. Ю., Афанасьев Е. О., Кадочникова Е. Н. Эффективность применения вязких гидрогелей при тушении горящих твердых веществ // Пожаровзрывобезопасность. 2020. № 29 (2). С. 53–62.

16. Скрипов В. П. Метастабильная жидкость. М.: Наука, 1972. 312 с.

17. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 417 с.

18. Кутателадзе С. С. Тепломассообмен и волны в газожидкостных системах. Новосибирск: ВО «Наука», 1984. 302 с.

19. Classification, processing and application of hydrogels: a review / Faheem Ullah, Muhammad Bisyrul Hafi Othman, Fatima Javed [et al.]. *Materials Science and Engineering: C*, 2015, vol. 57, pp. 414–433, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053> (дата обращения: 18.05.2022).

References

1. Stierstorfer J.; Klapötke T. M. High Energy Materials. Propellants, Explosives and Pyrotechnics. *Angewandte Chemie International Edition*. vol. 122 (36), pp. 6391–6391. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.201003666> (дата обращения: 13.12.2021).

2. Medvedev G. N. Opyt primeneniya vzryvnyh tekhnologij pri provedenii avarijno-spasatel'nyh rabot [Experience in the use of explosive technologies in emergency rescue operations]. *VNII GOCHS: kompleksnye resheniya problem bezopasnosti: (40-letiyu instituta posvyashchaetsya): v 4 t. Sbornik statey*. M.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut po problemam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnyh situacij MCHS Rossii, 2016, pp. 136–138.

3. A Review of Recent Accidents Involving Explosives Transport By Richard J. Mainiero and James H. Rowland III NIOSH, Pittsburgh Research Laboratory Pittsburgh, PA Proceedings of the 34th annual conference on explosives and blasting technique, January 27–30, 2008, New Orleans, Louisiana. Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers, 2008 Jan; issue 2, pp. 1–12. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/8568> (дата обращения: 13.12.2021).

4. Zhao B. Facts and lessons related to the explosion accident in Tianjin Port, China. *Nat Hazards* 2016, issue 84, pp. 707–713. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2403-0> (дата обращения: 13.12.2021).

5. Guiochon G. On the catastrophic explosion of the AZF plant in Toulouse. *AIChE Spring meeting and Global Congress on Process Safety*. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee. 2012, vol. 39, issue 4, pp. 737–759. <https://doi.org/10.1002/>

6. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years / W. Pittman, Z. Han, B. Harding [et al.]. *Journal of Hazardous Materials*, 2014, vol. 280, pp. 472–477. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.037 (дата обращения: 13.12.2021).

7. Han Z., Pasman H. J., Mannan M. S. Extinguishing fires involving ammonium nitrate stock with water: Possible complications. *Journal of Fire Sciences*, 2017, vol. 35 (6), pp. 457–483. <https://doi.org/10.1177/0734904117735264> (дата обращения: 13.12.2021).

8. Osobennosti požarovzryvoopasnyh svojstv ammiachnoj selitry, sposoby ee tusheniya i usloviya bezopasnogo hraneniya [Features of fire and explosion hazardous properties of ammonium nitrate, methods of extinguishing it and conditions for safe storage] / L. P. Vogman, A. V. Il'ichev, V. A. Zujkov [et al.]. *Aktual'nye voprosy požarnoj bezopasnosti*, 2020, vol. 2 (4),

pp. 5–16. DOI 10.37657/vniipo.2020.4.2.001 (data obrashcheniya: 13.12.2021).

9. Gadzhiev Sh. G. Taktiko-tekhnicheskoe obespechenie ognезashchity i tusheniya pozharov modifitsirovannymi vodnogelevymi sostavami na transporte. Diss. kand. tekhn. nauk [Tactical and technical support of fire protection and extinguishing fires with modified water-gel compositions in transport. Cand. tech. sci. diss.]. SPb., 2018. 127 p.

10. Taktiko-tekhnicheskie obosnovanie primeneniya modifitsirovannykh vodnogelevykh sostavov dlya teplovoj zashchity i tusheniya pozharov [Tactical and technical justification for the use of modified water-gel compositions for thermal protection and fire extinguishing] / Sh. G. Gadzhiev, A. V. Ivanov, G. K. Ivahnyuk [et al.]. *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere»*, 2016, vol. 3 (39), pp. 51–60.

11. Gadzhiev Sh. G., Basharichev A. V., Ivahnyuk G. K. O vozmozhnosti obespecheniya teplovoj zashchity tekhnologicheskogo oborudovaniya i personala s ispol'zovaniem vodnogelevykh sostavov // *Byulleten' nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIIT*, 2013, issue 3, pp. 76–80.

12. Uspenskaya M. V. Akrilovye gidrogeli v kachestve polimernykh svyazuyushchih: avtoreferat diss. d-ra. tekhn. nauk [Acrylic hydrogels as

polymer binders. Avtoreferat dr. tech. sci. diss.] SPb, 2009. 40 p.

13. Fridrihsberg, D. A. *Kurs kolloidnoj himii* [Colloid Chemistry Course]. SPb.: Himiya, 1995, 400 p.

14. Sheludko A. *Kolloidnaya himiya* [Colloid chemistry]. M.: Mir, 1989, 320 p.

15. Andryushkin A. Yu., Afanas'ev E. O., Kadochnikova E. N. Effektivnost' primeneniya vyazkih gidrogelej pri tushenii goryashchih tverdykh veshchestv [Efficiency of viscous hydrogels in extinguishing burning solids]. *Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Pozharovzryvobezopasnost'»*, 2020, vol. 29 (2), pp. 53–62.

16. Skripov V. P. *Metastabil'naya zhidkost'* [Metastable liquid]. M.: Nauka, 1972, 312 p.

17. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer]. M.: Atomizdat, 1979, 417 c.

18. Kutateladze S. S. *Teplomassoobmen i volny v gazozhidkostnykh sistemakh* [Heat and mass transfer and waves in gas-liquid systems]. Novosibirsk: VO «Nauka», 1984, 302 p.

19. Classification, processing and application of hydrogels: a review / Faheem Ullah, Muhammad Bisyrul Hafi Othman, Fatima Javed [et al.]. *Materials Science and Engineering: C*, 2015, vol. 57, pp. 414–433, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053>. (дата обращения: 18.05.2022).

Воронцов Тарас Сергеевич

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

E-mail: taras.chek@yandex.ru

Vorontsov Taras 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: taras.chek@yandex.ru

Иванов Алексей Владимирович

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской Федерации
генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
кандидат технических наук, доцент

E-mail: 89052070791@mail.ru

Ivanov Alexey Vladimirovich

St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
named after the Hero of the Russian Federation, General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, St. Petersburg
candidate of technical sciences, docent

E-mail: 89052070791@mail.ru

УДК 614.842

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКАПСУЛ В ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

О. В. ДМИТРИЕВ, В. И. ПОПОВ, М. В. ПУГАНОВ
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: olegdmitriev22@gmail.com, popovvi49@mail.ru

Микрокапсулы нашли широкое применение в различных областях хозяйства. Наибольшее распространение получили в медицине. В последние годы микрокапсулы с хладонами находят применение в области обеспечения пожарной безопасности объектов. По результатам исследований на кафедре пожарной безопасности объектов защиты Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России установлены перспективные направления использования микрокапсул с хладонами в качестве добавок в огнетушащие порошки.

Ключевые слова: микрокапсулы, огнетушащие порошки, пожар, тушение горения, лабораторные исследования, промышленные испытания.

THE USE OF MICROCAPSULES IN FIRE FIGHTING

O. V. DMITRIYEV, V. I. POPOV, M. V. PUGANOV
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: olegdmitriev22@gmail.com, popovvi49@mail.ru

Microcapsules are widely used in various fields of the economy. The most widespread are in medicine. In recent years, microcapsules with refrigerants have been used in the field of fire safety of facilities. According to the results of research at the Department of Fire Safety of objects of protection of the IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, promising directions for the use of microcapsules with refrigerants as additives in fire extinguishing powders have been established.

Key words: microcapsules, extinguishing powders, fire, extinguishing gorenje, laboratory research, industrial tests.

Микрокапсулы применяются в различных отраслях: в медицине, в пищевой промышленности, в химической промышленности, в сельском хозяйстве и др. Микрокапсулирование открыло новые подходы в создании лечебно-профилактических и лекарственных препаратов, косметических средств, биологически активных веществ, ароматических добавок к пищевым продуктам.

В фармацевтической промышленности микрокапсулы нашли наиболее широкое применение для защиты неустойчивых лекарственных веществ от воздействия окружающей среды (витамины, антибиотики, ферменты, вакцины, сыворотки и др.); маскировки вкуса горьких лекарственных веществ; для совмещения в одной микрокапсуле несовместимых

между собой веществ (использование разделительных покрытий); для доставки лекарственных веществ в нужном участке желудочно-кишечного тракта (кишечно-растворимые микрокапсулы) и др.

В последние годы микрокапсулы нашли новое применение в области обеспечения пожарной безопасности, в основном для пожаротушения¹. Дисперсность микрокапсул, применяемых как средство пожаротушения, составляет 50...200 мкм [1].

Применение микрокапсул в области пожарной безопасности:

- термоактивируемые микрокапсулированные газовыделяющие огнетушащие вещества (стикеры);

- термоактивируемые микрокапсулированные порошкообразные огнетушащие вещества;
- термоактивируемые микрокапсулированные огнетушащие полотна;
- термоактивируемые микрокапсулированные огнезащитные краски;
- огнетушащие порошки с добавками термоактивируемых микрокапсул (10...15 % по массе).

В нормативе ГОСТ Р 56459-2015² приведено определение: микрокапсулы – капсулы, состоящие из тонкой оболочки из полимерного материала шарообразной или неправильной формы размером от 2 до 100 мкм, содержащие жидкий огнетушащий состав. Приведенное определение не в полной мере отражает область современного применения микрокапсул для ликвидации горения, так как применяются не только жидкие наполнители, но и порошкообразные огнетушащие вещества с дисперсностью микрокапсул до 200 мкм.

Стикеры применяются для ликвидации горения, в основном в электрических щитах объемом до 60 л. Стикеры – это композитные пластины, размеры которых зависят от объема защищаемого оборудования. Пластины содержат микрокапсулированный газ или жидкость в количестве, достаточном чтобы предотвратить распространение горения в тот момент, когда возникает воспламенение³. Стикеры приклеиваются внутри оборудования с помощью самоклеющегося основания. Температура срабатывания составляет 100-120 °С. Общий вид стикеров представлен на рис. 1.

Порошкообразный микрокапсулированный огнетушащий порошок применяется в модульных системах пожаротушения. Капсулы наполняются огнетушащим порошком высокой дисперсности (5...50 мкм). Дисперсность капсул с порошком составляет 150...200 мкм. При температуре 100...120 °С оболочки капсул разрушаются и порошок поступает в зону горения. Огнетушащая эффективность порошка повышается за счет того, что на порошок высокой дисперсности не влияют конвективные потоки, капсулы разрушаются в зоне пламени, высвобождая частицы порошка.

Огнетушащие полотна с микрокапсулами аналогичны стикерам. Микрокапсулы

² Устройства пожаротушения автономные с применением термоактивируемых микрокапсулированных газовыделяющих огнетушащих веществ. Общие технические требования. Методы испытаний. ГОСТ Р 56459-2015.

³ Стикер – огнегасящая композитная пластина. <https://aofortis.ru/product/ogneborec-stiker-50/> (дата обращения 08.02.2022).

наносятся на специальную ткань. Полотна применяются как первичные средства пожаротушения, в том числе для тушения одежды человека.

Огнезащитные краски с термоактивируемыми микрокапсулами с хладонами применяются для защиты стальных конструкций от действия высоких температур, для защиты конструкций из горючих материалов. Эффективность огнезащитных красок повышается, так как разрушаемые микрокапсулы с хладонами при действии температуры пожара оказывают воздействие на процесс горения, снижая интенсивность горения.



Рис. 1. Стикеры

На кафедре пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России провели исследования по определению изменения огнетушащей эффективности огнетушащего порошка с добавками термоактивируемых микрокапсул с хладонами. Исследования проводились с целью определения вида добавок в огнетушащий порошок для повышения огнетушащей эффективности.

Огнетушащие порошки не оказывают огнетушащего эффекта на тлеющие материалы, кроме того в порошковых составах используются частицы с дисперсностью 60...100 мкм для сопутствующей доставки частиц порошков с дисперсностью менее 60 мкм. Частицы с дисперсностью более 60 мкм оказывают незначительной огнетушащий эффект.

Тушение огнетушащими порошками, в соответствии с общей тепловой теорией прерывания горения, происходит при условии:

$$Q_{\text{гор.}} \leq Q_{\text{пот.}}, \quad (1)$$

где $Q_{гор.}$ – тепловыделение при реакции горения, Дж/с; $Q_{пот}$ – теплопотери при тушении горения, Дж/с.

При тушении порошками происходит отбор тепла от зоны горения и воздействие на реакцию горения (ингибирование и разбавление зоны горения), которое приводит к снижению интенсивности тепловыделения, т.е. общее условие прекращения горения огнетушащими порошками имеет следующий вид:

$$Q_{гор.} - Q_{ингиб} - Q_{разбав} - Q_{прегр} \leq Q_{окр} + Q_{охл} + Q_{разл}, \quad (2)$$

где $Q_{гор.}$ – тепловыделение при реакции горения, Дж/с; $Q_{ингиб}$ – снижение тепловыделения при тушении горения за счет ингибирования реакции горения, Дж/с; $Q_{разбав}$ – снижение тепловыделения при тушении за счет разбавления частицами порошка зоны горения, Дж/с; $Q_{прегр}$ – снижение тепловыделения при тушении за счет огнепреграждения частицами порошка в зоне горения, Дж/с; $Q_{окр}$ – теплопотери в

окружающую среду и нагрев горючего вещества, Дж/с; $Q_{охл}$ – теплопотери за счет охлаждения зоны горения частицами порошка, Дж/с; $Q_{охл}$ – теплопотери за счет затрат тепла на разложение и испарение частиц порошка, Дж/с.

Большинство ученых, которые исследуют процессы тушения огнетушащими порошками, считают преобладающим огнетушащим эффектом ингибирование зоны горения. При этом ингибирование осуществляется преимущественно в гомогенной фазе при разложении частиц порошка. Следовательно, активными частицами, разлагающимися в зоне горения, являются частицы дисперсностью менее 40 мкм. Полностью плавятся частицы порошка дисперсностью менее 6 мкм [2].

Косвенное подтверждение приведенного утверждения получено при исследованиях на лабораторной установке, приведенной на рис. 2. Методика исследований на приведенной лабораторной установке изложена в работе [3].

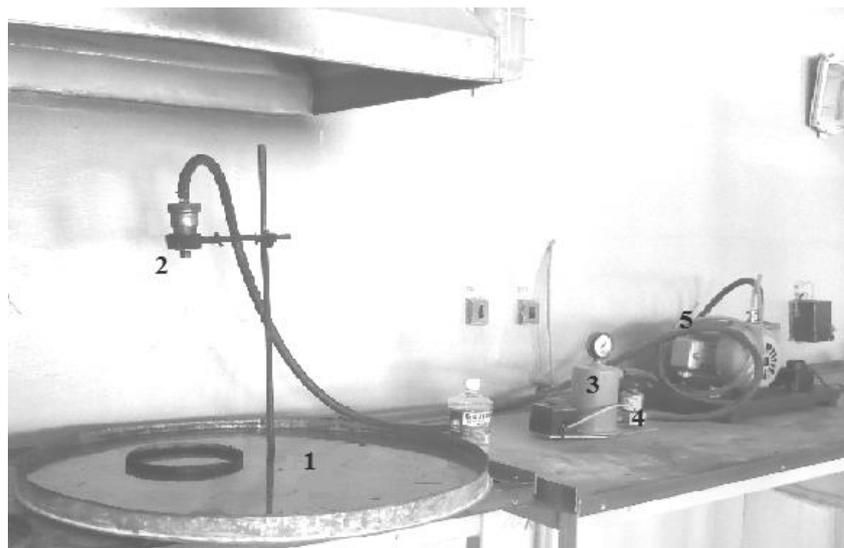


Рис. 2. Лабораторная установка для исследования сравнительной оценки огнетушащей способности огнетушащих порошков:

1 – поддон для воды; 2 – распылитель; 3 – промежуточная емкость (для сжатого воздуха); 4 – магнитный клапан; 5 – компрессор

С целью определения преобладающего огнетушащего эффекта проведены лабораторные исследования с использованием порошка Волгалит-АВС. Для исследований огнетушащий порошок Волгалит-АВС разделяли ситовым методом на фракции: до 40 мкм, от 40 мкм до 70 мкм и свыше 70 мкм.

При исследованиях установлено, что для прекращения горения модельного очага с ЛВЖ, огнетушащего порошка дисперсностью до 40 мкм потребовалось 0,5 г, дисперсностью

от 40 до 70 мкм – 3,2 г, стандартным порошком – 1,8 г. Прекращение горения порошком дисперсностью более 70 мкм при подаче 8 г порошка на лабораторной установке не достигнуто. На диаграмме сравнительной зависимости огнетушащей способности огнетушащего порошка от дисперсности рис. 3. условно показано тушение при подаче 8 г.

По результатам проведенных лабораторных исследований можно сделать вывод о подтверждении заключения ученых о том, что

определяющими и преобладающими при тушении порошками являются процессы ингибирования в гомогенной фазе, т.е. происходит ингибирование горения продуктами испарения и разложения порошков.

Полученные результаты лабораторных исследований показывают, что наибольший эффект по повышению огнетушащей способности порошков может быть получен путем снижения тепловыделения реакции горения за счет ингибирования реакции горения ($Q_{\text{ингиб}}$). Для целей снижения тепловыделения ингибированием зоны горения провели исследования по определению изменения огнетушащей эффективности порошка при тушении горения жидкости и древесины с разным процентным содержанием микрокапсул с хладоном. Хладоны обладают высокой ингибирующей способностью горения.

Проведены сравнительные лабораторные исследования по определению влияния микрокапсулированных (100...120 мкм) добавок с хладоном (5 %, 10 %, 15 %, 20 % по массе) на огнетушащий эффект огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» по тушению модельного очага горючей жидкости. Лабораторные исследования огнетушащей способности порошковых смесей в сравнении с огнетушащей способностью порошка «Волгалит-АВС» осуществлялись по количеству смеси (порошка) подаваемой из устройства подачи порошка для тушения модельного очага горения жидкости. Площадь зеркала горячей жидкости в экспериментах составляла 0,03 м². Результаты сравнительной оценки приведены на рис. 4.

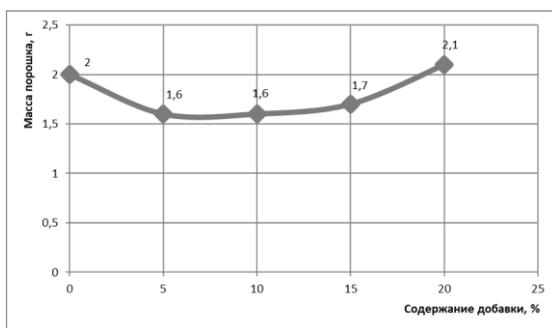


Рис. 4. Изменение огнетушащей способности огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» в смеси с микрокапсулированной добавкой на модельном очаге с легковоспламеняющейся жидкостью

Лабораторными исследованиями установлено, что наибольшая огнетушащая эффективность огнетушащего порошка достигалась при тушении модельного очага горения

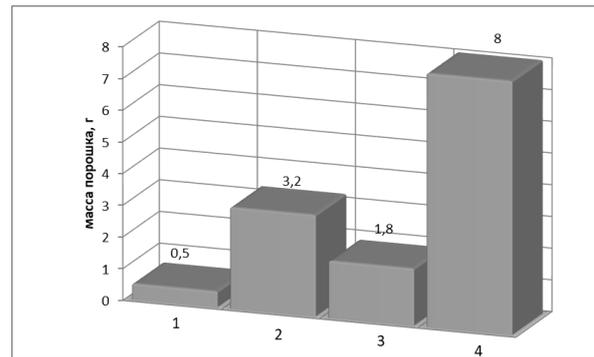


Рис. 3. Зависимость огнетушащей способности огнетушащего порошка от дисперсности
1 – порошок дисперсностью менее 40 мкм;
2 – порошок дисперсностью 40-70 мкм;
3 – порошок Волгалит-АВС, выпускаемый предприятием; 4 – порошок дисперсностью более 70 мкм (значение 8 г указано условно, при дисперсности более 70 мкм тушение не достигнуто при применении 8 г порошка).

Проведены сравнительные лабораторные исследования по определению влияния микрокапсулированных (100...120 мкм) добавок с хладоном (5%, 10%, 15%, 20% по массе) на огнетушащий эффект огнетушащего порошка «Волгалит-АВС» по тушению модельного очага горения древесины. В качестве модельного очага принят штабель 80x80x40 мм из брусков 5x5 мм в 8 слоев по 5 брусков, уложенных под углом в 90°. Результаты сравнительной оценки приведены на рис. 5.

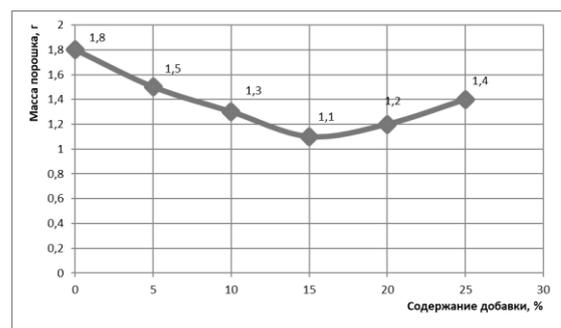


Рис. 5. Изменение количества порошкового состава для тушения модельного очага с ТГВ (порошок Волгалит-АВС в смеси с микрокапсулированной добавкой с хладоном на модельном очаге с ТГВ (древесина))

жидкости при 10 % содержании микрокапсул с хладоном (по массе), при тушении модельного очага горения древесины – 15 %. Изменение огнетушащей эффективности определяли по

массе затраченного порошка на тушение. Необходимая масса для тушения с добавками микрокапсул снижалась на 30-40 %.

Огнетушащая эффективность порошка при применении в виде добавок микрокапсул повышалась за счет разрушения микрокапсул при более низкой температуре (100...120 °С) чем разложение и испарение порошка (200...300 °С) и испарения хладона, вступающего в процесс ингибирования (температура кипения хладона 40 °С).

Для подтверждения лабораторных исследований проведены промышленные испытания. На рис. 6 изображено проведение промышленных испытаний на полигоне в Нижегородской области.

Промышленные испытания показали, что добавки микрокапсул с хладоном в огнетушащий порошок «Волгалит-АВС» повышают огнетушащую эффективность порошка при тушении модельного очага горения штабеля древесины.

Промышленные испытания подтвердили результаты лабораторных исследований. Наибольшую огнетушащую эффективность при тушении модельных очагов горения древесины и горения жидкости показал огнетушащий порошок при 10 % (по массе) содержании микрокапсул с хладоном.



Рис. 6. Промышленные испытания огнетушащего порошка с микрокапсулами с хладоном

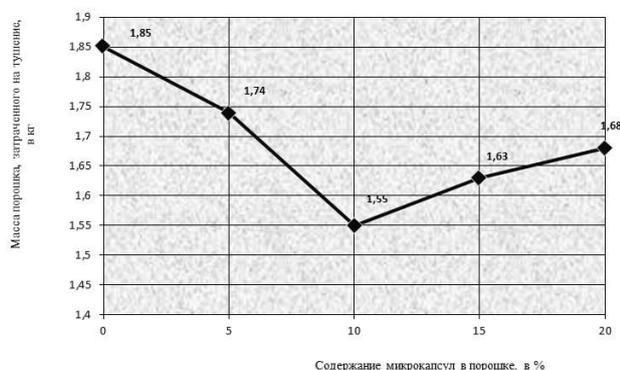


Рис. 7. Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара класса А (горение древесины) в зависимости от содержания микрокапсул с хладоном

Применение микрокапсул с хладоном в качестве добавки в огнетушащий порошок позволит значительно повысить огнетушащую способность порошка. С микрокапсулами возможно использование порошка с высокой дисперсностью (5...20 мкм), так как роль несущих элементов порошка будут выполнять микрокапсулы с дисперсностью 100...200 мкм. Исследования в этой области имеют перспективное направление. Порошковые смеси (огнетушащий порошок + микрокапсулы с хладоном)

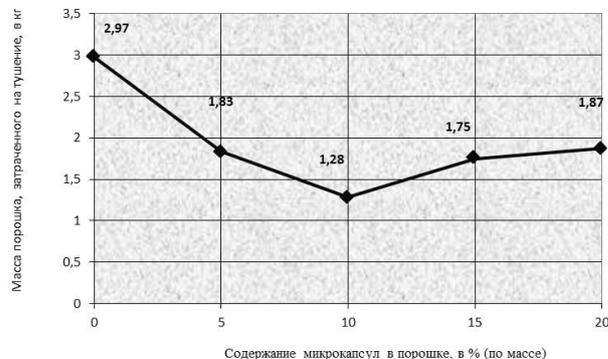


Рис. 8. Изменение количества порошка на тушение модельного очага пожара класса В (горение жидкости) в зависимости от содержания микрокапсул с хладоном

могут получить распространение в качестве огнетушащего состава огнетушителей для объектов с ценным оборудованием, предметами, представляющими историческую ценность, а также с тлеющими веществами. Порошковые смеси с высокой огнетушащей эффективностью позволяют разработать мини огнетушители для обеспечения тушения одежды человека (специалистов оперативных служб МВД России, Российской гвардии и др.).

Список литературы

1. Микрокапсулированные огнегасящие жидкости и реактивные композиционные огнегасящие материалы на их основе / А. Д. Вилесов, Н. Н. Сапрыкина, Р. В. Степанов [и др.] // Высокомолекулярные соединения, Серия А. 2012. Т. 54. № 6. С. 900–906.

2. Вклад теплового и химического механизмов в тушении горючих жидкостей порошками / С. Н. Копылов, Д. В. Бухтояров, А. В. Казаков [и др.] // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России. М., 2012. С. 221–233.

3. Дмитриев О. В., Попов В. И. Лабораторная установка и исследования огнетушащей способности порошковых составов. // Горение и плазмохимия. 2012. Т. 10, № 3. С. 203–208.

References

1. Mikrokapsulirovannyye ognegasyashchiye zhidkosti i reaktivnyye kompozitsionnyye ognegasyashchiye materialy na ikh osnove [Microcapsulated extinguishing liquids and reactive composite extinguishing materials based on them] / A. D.Vilesov, N. N. Saprykina, R. V. Stepanov [et al.]. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya*, Series A, 2012, vol. 54, issue 6, pp. 900–906.

2. Vklad teplovogo i khimicheskogo mekhanizmov v tushenii goryuchikh zhidkostey poroshkami [The contribution of thermal and chemical mechanisms in the extinguishing of combustible liquids by powders] / S. N. Kopylov, D. V. Bukhtoyarov, A. V. Kazakov [et al.]. *Yubileynyy sbornik trudov FGBU VNIIPo MCHS Rossii*, 2012, pp. 221–233.

3. Dmitriev O. V., Popov V. I. Laboratornaya ustanovka i issledovaniya ogetushashchey sposobnosti poroshkovykh sostavov [Laboratory installation and research of the fire-extinguishing ability of powder compositions]. *Goreniye i plazmokhimiya*, 2012, vol. 10, issue 3, pp. 203–208.

Дмитриев Олег Владимирович

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

начальник отделения информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности научно-технического отдела.

E-mail: olegdmitriev22@gmail.com

Dmitriev Oleg 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

Head of the Department of Information Support for the Population and Information Support Technologies of the RSChS and Fire Safety of the Scientific and Technical Department.

E-mail: olegdmitriev22@gmail.com

Попов Владимир Иванович

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

доцент кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор»),

кандидат технических наук, доцент.

E-mail: popovvi49@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

Associate Professor of the Department of Fire Safety of Protected Objects (as part of the educational and scientific complex "State Supervision"),
candidate of technical sciences, associate professor.

E-mail: popovvi49@mail.ru

Пуганов Михаил Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель кафедры пожарной безопасности объектов защиты
(в составе учебно-научного комплекса «Государственный надзор»),
кандидат педагогических наук.

Puganov Mikhail Vladimirovich

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

Russian Federation, Ivanovo

Senior Lecturer of the Department of Fire Safety of Protected Objects (as part of the educational and scientific complex "State Supervision"),
candidate of pedagogical sciences.

УДК 614.8

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА СО СТРОПОРЕЗОМ ДЛЯ РАЗБИВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТЕКОЛ

В. Е. ИВАНОВ, П. В. ПУЧКОВ, А. В. ТОПОРОВ

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

В данной статье пойдет речь о разработке конструкции устройства для разбивания автомобильных стекол, оснащенного стропорезом и стеклобоем с пружинным механизмом. Данное устройство предназначено для безопасного и оперативного разбивания автомобильного стекла в аварийных ситуациях. При разработке устройства применялись системы автоматизированного проектирования AutoDESK AutoCAD, AutoDESK Inventor и технология трехмерной печати.

Ключевые слова: конструкция, устройство, аварийная ситуация, 3D-печать, автомобильное стекло, боек.

DESIGN DEVELOPMENT OF A DEVICE WITH A SLINGER FOR BREAKING CAR WINDOWS

V. E. IVANOV, P. V. PUCHKOV, A. V. TOPOROV

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: vitaliyivanov@yandex.ru

In this article we will talk about the design of a device for breaking car windows, which is equipped with a slinger and a pressure-type cullet mechanism. This device is designed for safe and prompt breaking of car glass in emergency situations. During the development of the device, computer-aided design systems AutoDESK AutoCAD, AutoDESK Inventor and three-dimensional printing technology were used.

Key words: design, device, emergency, 3D printing, car glass, firing pin.

В России ежегодно происходит большое количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Согласно статистике, представленной на официальном сайте Госавтоинспекции, за период с января по сентябрь 2021 года количество ДТП снизилось на 10,04 % и составило 96314 ДТП. Достаточно часто для тушения пожаров на транспорте и проведения аварийно-спасательных работ при ДТП привлекаются аварийно-спасательные службы и пожарные расчеты. При проведении данных работ пожарные и спасатели, сталкиваются с ситуацией, когда необходимо оперативно извлечь пострадавших из транспортного средства. Иногда вследствие ДТП происходит деформация кузова автомобиля, что нередко приводит к заклиниванию дверей. Для разбивания стекла автомобиля при заклиненных

дверях, в таких случаях применяются либо шанцевый инструмент, либо специальные инструменты – стеклобои [1, 2]. В настоящее время существует множество конструкций стеклобоев отличающихся по принципу работы и по габаритам. Целью данной работы является разработка приспособления для разбивания стекол и перерезания ремней безопасности, позволяющего без затруднений его использовать пожарными и спасателями в средствах индивидуальной защиты при спасении людей на транспорте. Так же данным устройством предлагается оснастить личные автомобили автовладельцев для самостоятельного оперативного самоспасания из автомобиля при ДТП.

На первом этапе работы проведен обзор конструкций аналогичных устройств, применяемых в России и в зарубежных странах. На рис. 1 представлены типовые конструкции стеклобоев.

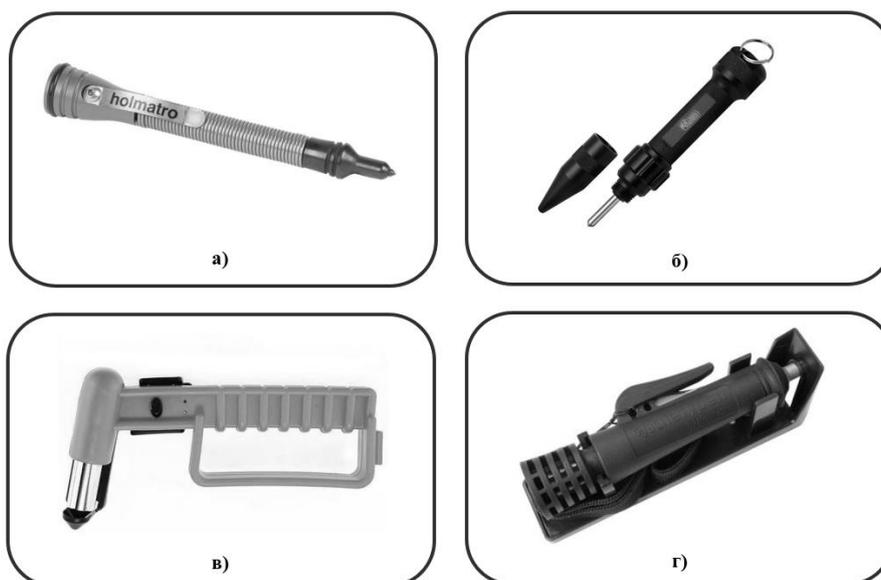


Рис. 1. Существующие конструкции стеклобоев:

- а) Стеклобой пружинный Holmatro (Нидерланды), б) Стеклобой нажимной Viking Nordway (КНР), в) Молоток аварийный (Россия), г) Стеклобой с функцией стропореза, SafetyPen (ФРГ)

Проведенный выше анализ показал, что каждая из представленных конструкций обладает своими достоинствами и недостатками. Так, например, стеклобой пружинный Holmatro требует использования обеих рук для удержания стеклобоя и взведения пружины бойка, что в аварийных ситуациях зачастую бывает невозможно. Другие устройства имеют малые габаритные размеры, что доставляет неудобство или делает невозможным применение данных устройств пожарными, работающими в крагах. Кроме анализа конструкций стеклобоев был проведен анализ конструкций стропорезов. На рис. 2 представлены различные конструкции стропорезов.

Представленные конструкции стропорезов применяются в чрезвычайных ситуациях, как спецслужбами, так и гражданским населением. Одним из преимуществ, представленных на рисунках 2а и 2в стропорезов, являются

сменные лезвия. Все рассмотренные стропорезы хорошо перерезают как ремни безопасности, так и веревки, и стропы.

Рассмотрев различные конструкции стропорезов и выявив их достоинства и недостатки, были применены новые инженерно-технические решения, которые позволили учесть особенности работы пожарных и спасателей с оборудованием в средствах индивидуальной защиты. Разработка новой конструкции приспособления для разбивания стекол осуществлялась с применением систем автоматизированного проектирования AutoCAD и AutoCAD Inventor с целью последующего изготовления опытного образца при помощи технологии трехмерной печати. На рис. 3 представлено разработанное устройство, которое оснащено бойком и «V»-образным лезвием для перерезания строп или ремней безопасности [3-8].

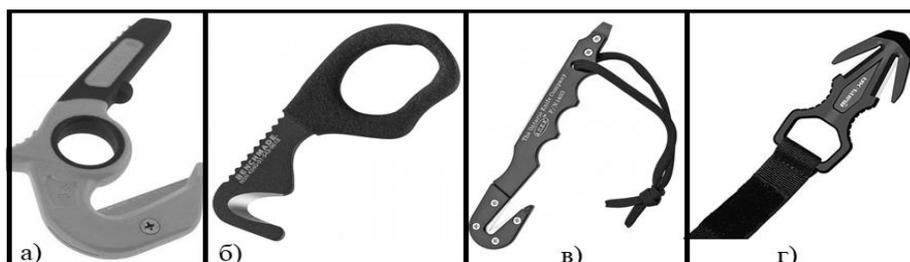


Рис. 2. Конструкции стропорезов:

- а) Нож GERBER VITAL ZIP (США), б) Стropорез Benchmade Strap Cutter 7BLKW (США), в) Стropорез Ceramic Mares XR (Италия), г) Стropорез Ontario Asek 1403 (США)

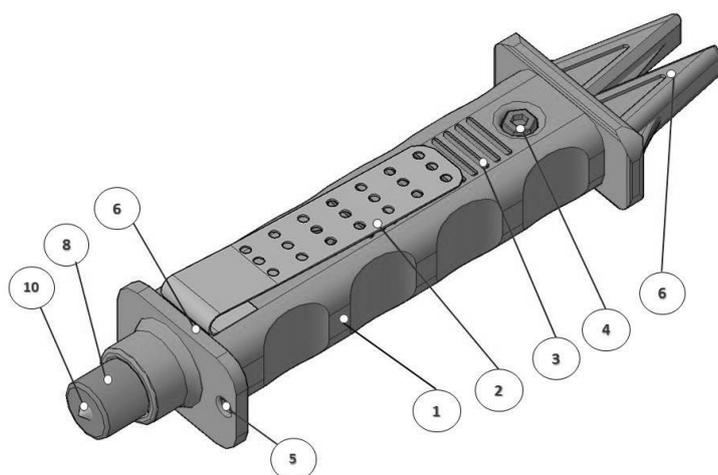


Рис. 3. Конструкция разработанного устройства:
 1 – корпус устройства, 2 – зажим-клипса, 3 – насечка, 4 – винт крепежный, 5 – отверстие для крепления темляка, 6 – V-образный стропорез, 7 – гарда, 8 – корпус механизма для разбивания стекла, 9 – боек

При изготовлении опытного образца разработанной конструкции стеклобоя с применением технологии трехмерной печати было уделено особое внимание оптимизации его удельной прочности. При проведении экспериментальных исследований необходимо было определить оптимальное соотношение затрачиваемого материала на изготовление

устройства при сохранении достаточной прочности конструкции. Экспериментальные исследования проводились с применением лабораторного оборудования «Маятниковый копер». Для проведения ряда экспериментов были подготовлены образцы из пластика PLA с площадью поперечного сечения $0,36 \text{ см}^2$ (рис. 4).

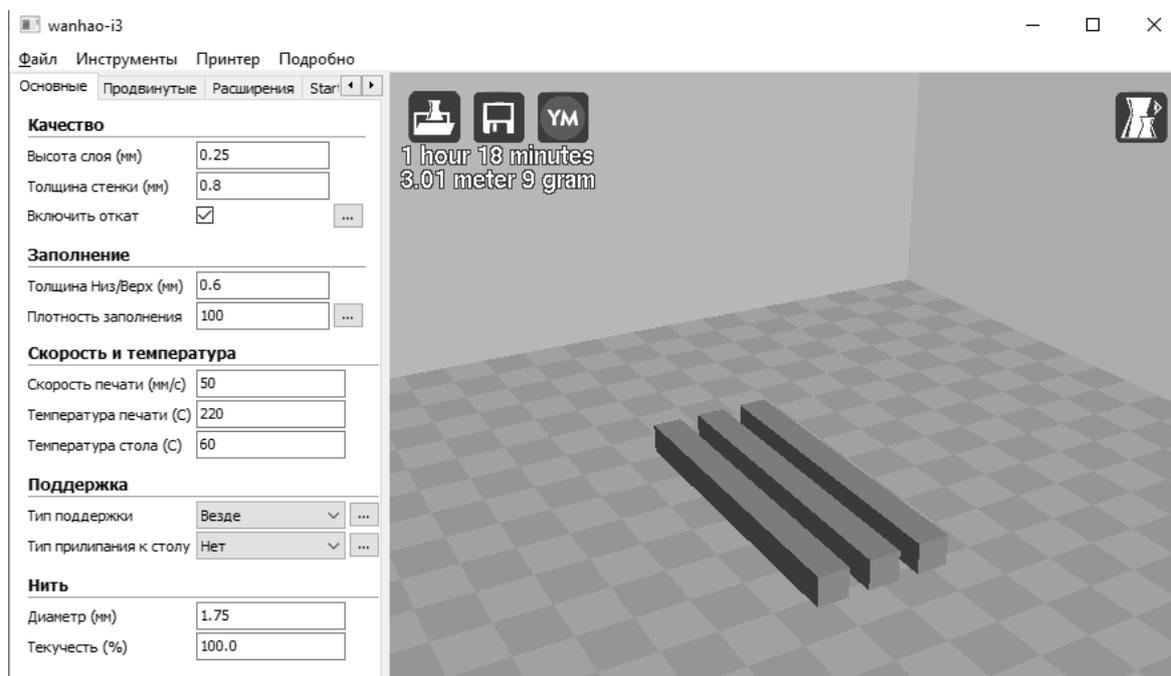


Рис. 4. Подготовка образцов к 3D-печати

При подготовке образцов для проведения эксперимента задавались следующие неизменяемые параметры: температура печати – 220°C , высота слоя – 0,25 мм, толщина стенки – 0,8 мм, температура стола – 60°C , материал

для 3D-печати – PLA пластик. Плотность заполнения образца изменялась с шагом в 10 % в интервале от 30 % до 100 %. На рис. 5 показана зависимость затрачиваемой работы на разрушение образца от плотности заполнения.

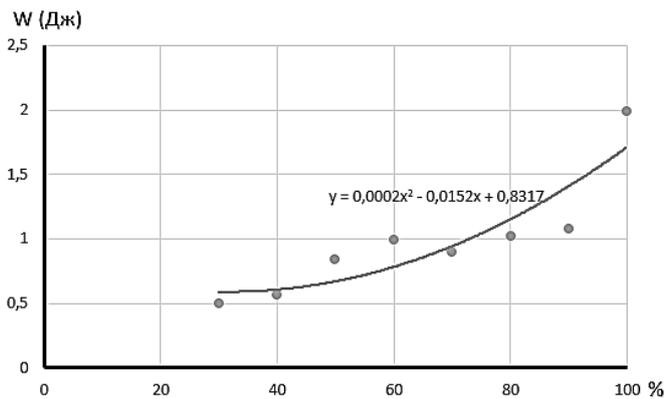


Рис. 5. Зависимость затрачиваемой работы на разрушение образца от плотности заполнения

Как видно из рис. 5, затрачиваемая работа на разрушение образца при 70 % заполнении ниже, чем при 60 % заполнении. Это можно объяснить тем, что внутри детали увеличивается количество концентраторов напряжения при заполнении внутренней части детали в виде сеточной (ромбовидной) структуры. Далее для каждого эксперимента рассчитывалась ударная вязкость образца (кДж/см²). При плотности заполнения образца

на 60 % ударная вязкость составила 0,99 кДж/см², а при заполнении на 70 % – 0,9 кДж/см². Эксперимент показал, что при уменьшении плотности заполнения на 10 %, ударная вязкость изменилась всего 0,09 %.

Исходя из результатов экспериментальных исследований выявлено, что для обеспечения необходимой и достаточной прочности и жесткости конструкции корпуса стеклобоя необходимо обеспечить плотность заполнения формы при 3D-печати в пределах 60–70 %. При увеличении плотности заполнения формы до 80–90 % расход материала увеличивается на 10–20 % соответственно, а прочность конструкции возрастает незначительно (рис. 5).

Вывод: проведен анализ существующих устройств, предназначенных для разбивания автомобильных стекол и для перерезания строп, и ремней безопасности. Разработана новая конструкция комбинированного устройства, которое позволит его использовать пожарными и спасателями в средствах индивидуальной защиты для оперативного и безопасного разбивания стекол и перерезания ремня безопасности в автомобиле при спасении людей.

Список литературы

1. Иванов И. В., Пучков П. В. Разработка ручного инструмента для разбивания автомобильных стекол в аварийных ситуациях // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 293–295.

2. Суконщиков А. А., Пучков П. В. Восстановление деталей механизмов с помощью 3D печати // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 540–543.

3. Вокуев Д. Н., Иванов В. Е., Пучков П. В. Современное программное обеспечение для визуализации проектных решений // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 456–459.

4. Иванов В. Е., Легкова И. А., Пучков П. В. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. № 2 (5). С. 53–65.

5. Иванов В. Е. Снижение металлоемкости конструкции средствами Autodesk Inventor // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 427–429.

6. Иванов В. Е., Головатенко А. Ю. Современное программное обеспечение для проведения прочностных исследований разрабатываемых конструкций // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 224–227.

7. Иванов В. Е., Пучков П. В. Исследование технического состояния объектов машиностроения на основе компьютерного моделирования на примере разработки зажимов для устранения неисправностей пожарных рукавов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 12. С. 543–546.

8. Иванов В. Е., Пучков П. В. Использование современных методов исследования при разработке новых конструкций зажимов для восстановления работоспособности напорных пожарных рукавов и оценка их технического состояния на основе компьютерного моделирования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 3. С. 114–118.

References

1. Ivanov I. V., Puchkov P. V. Razrabotka ruchnogo instrumenta dlya razbivaniya avtomobil'nykh stekol v avariynykh situatsiyakh [Development of a hand tool for breaking car windows in emergency situations]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XVI Mezh-dunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy provedeniyu v Rossiyskoy Federatsii Goda nauki i tekhnologii v 2021 godu i 55-letiyu uchebnogo zavedeniya*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021, pp. 293–295.

2. Sukonshchikov A. A., Puchkov P. V. Vosstanovleniye detaley mekhanizmov s pomoshch'yu 3D pechati [Restoration of mechanism parts using 3D printing]. *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2019, pp. 540–543.

3. Vokuev D. N., Ivanov V. E., Puchkov P. V. Sovremennoye programmnoye obespecheniye dlya vizualizatsii proyektnykh resheniy [Modern software for visualization of design solutions]. *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konfeentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017, pp. 456–459.

4. Ivanov V. E., Legkova I. A., Puchkov P. V. Primeneniye sovremennogo programmnoy produkta dlya trekhmernogo modelirovaniya detaley i uzlov pozharnoy tekhniki [Application of a modern software product for

three-dimensional modeling of parts and components of fire equipment]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*. 2017, vol. 2 (5), pp. 53–65.

5. Ivanov V. E. Snizheniye metalloyemkosti konstruksii sredstvami Autodesk Inventor [Reduction of metal consumption of the structure by means of Autodesk Inventor] // *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2019, pp. 427–429.

6. Ivanov V. E., Golovatenko A. Yu. Sovremennoye programmnoye obespecheniye dlya provedeniya prochnostnykh issledovaniy razrabatyvayemykh konstruksiy [Modern software for conducting strength studies of developed structures] // *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021, pp. 224–227.

7. Ivanov V. E., Puchkov P. V. Issledovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya ob'yektov mashinostroyeniya na osnove komp'yuternogo modelirovaniya na primere razrabotki zazhimov dlya ustraneniya neispravnostey pozharnykh rukavov [Investigation of the technical condition of mechanical engineering objects based on computer modeling on the example of the development of clamps for troubleshooting fire hoses]. *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii*, 2021, issue 12, pp. 543–546.

8. Ivanov V. E., Puchkov P. V. Ispol'zovaniye sovremennykh metodov issledovaniya pri razrabotke novykh konstruksiy zazhimov dlya vosstanovleniya rabotosposobnosti napornykh pozharnykh rukavov i otsenka ikh tekhnicheskogo sostoyaniya na osnove komp'yuternogo modelirovaniya [The use of modern research methods in the development of new clamp designs for restoring the operability of pressure fire hoses and assessing their technical condition based on computer modeling]. *Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii*, 2021, issue 3, pp. 114–118.

Иванов Виталий Евгеньевич

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

Ivanov Vitaly Evgenievich

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

candidate of tech. sciences, associate professor
E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

Пучков Павел Владимирович

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

кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: *palpuch@mail.ru*

Puchkov Pavel Vladimirovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of tech. sciences, senior lecturer

E-mail: palpuch@mail.ru

Топоров Алексей Валерьевич

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: ironaxe@mail.ru

Toporov Alexey Valerievich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of tech. sciences, associate professor

E-mail: ironaxe@mail.ru

УДК 614.84

РАЗРАБОТКА БЮДЖЕТНЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

М. В. КВАСОВ, И. А. ЛЕГКОВА, А. Л. НИКИФОРОВ

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

Статья посвящена решению вопроса обеспечения средствами противопожарной защиты объектов индивидуального жилищного строительства, находящихся в труднодоступной местности. Отсутствие подъездных путей препятствует проезду пожарной техники непосредственно к месту вызова. Кроме этого далеко не везде имеются водоисточники, пригодные для заправки цистерн пожарного автомобиля. Производить работы по тушению пожара на таких объектах крайне проблематично. Для решения этой проблемы предложена система газового пожаротушения, основанная на использовании в качестве тушащего агента сжиженного углекислого газа или фреона. Предлагаемая система представляет собой конструкцию, состоящую из баллона, содержащего сжиженный углекислый газ, и трубопровода, который служит для доставки и распределения тушащего агента в зоне пожара. Участок трубопровода, имеющий перфорацию, размещается внутри помещения по периметру или площади потолка с учетом планировки защищаемого объекта. Также рассмотрена возможность автоматизации данной системы. Предложен вариант аналогичной системы автономного пожаротушения тонкораспыленной водой, основанной на использовании общедоступных технических средств и источников водоснабжения природного или искусственного происхождения. Достоинствами предлагаемых решений является практичность, простота в эксплуатации, а также низкая себестоимость при изготовлении, монтаже и обслуживании.

Ключевые слова: пожар, пожарная безопасность, газовое пожаротушение, углекислый газ, фреон, тонкораспыленная вода, объект индивидуального жилищного строительства.

DEVELOPMENT OF BUDGET FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS FOR INDIVIDUAL HOUSING CONSTRUCTION OBJECTS

M. V. KVASOV, I. A. LEGKOVA, A. L. NIKIFOROV

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

The article is devoted to solving the issue of providing means of fire protection for individual housing construction objects located in hard-to-reach areas. The lack of access roads prevents the passage of fire equipment directly to the place of the call. In addition, not everywhere there are water sources suitable for refueling fire truck tanks. It is extremely problematic to carry out fire extinguishing work at such facilities. To solve this problem, a gas fire extinguishing system based on the use of liquefied carbon dioxide or freon as an extinguishing agent is proposed. The proposed system is a structure consisting of a cylinder containing liquefied carbon dioxide and a pipeline that serves to deliver and distribute the extinguishing agent in the fire zone. A section of the pipeline with perforation is placed inside the room along the perimeter or area of the ceiling, taking into account the layout of the protected object. The possibility of automating this system is also considered. A variant of a similar system of autonomous fire extinguishing with water mist based on the use of publicly available technical means and sources of water supply of natural or artificial origin is proposed. The advantages of the proposed solutions are practicality, ease of operation, as well as low cost in manufacturing, installation and maintenance.

Key words: fire, fire safety, gas fire extinguishing, carbon dioxide, freon, mist water, individual housing construction objects.

В настоящее время техника, находящаяся на вооружении пожарной охраны, способна решать самые сложные задачи, связанные со спасением людей, тушением пожаров и проведением аварийно-спасательных работ. Однако существует категория объектов, на которых производить работы по тушению пожара крайне проблематично. Речь, в частности, идет о деревянных строениях преимущественно каркасного типа, расположенных в загородной местности, с труднодоступным расположением участков. Пожарные, выезжающие на вызов к такому объекту, зачастую сталкиваются с тем, что из-за отсутствия подъездных путей, плотности застройки, препятствующей проезду пожарной техники, невозможно доставить личный состав дежурного караула непосредственно к месту вызова.

Кроме этого далеко не во всех дачных кооперативах и сельских населенных пунктах имеются пожарные водоемы и другие водисточники, пригодные для заправки цистерн пожарного автомобиля, что делает невозможным обеспечение бесперебойной подачи воды в зону пожара. В данном случае приходится привлекать дополнительную технику или прокладывать большую магистральную линию от водисточника с помощью насосно-рукавного автомобиля, что требует слишком больших затрат времени, средств и сил. Зачастую не всегда имеется возможность привлечь к выполнению боевых задач дополнительную технику по причине того, что она может быть задействована на других объектах или просто отсутствовать¹. В то время как при пожарах объектов индивидуального жилищного строительства, к которым относятся постройки каркасного типа, выполненные с использованием древесины и ее производных, а также жилые дома из цельной древесины, распространение пламени по строительным конструкциям происходит с высокой скоростью, что требует от пожарных расчетов слаженных и быстрых действий².

Все перечисленное затрудняет выполнение боевой задачи и заставляет осуществлять поиск решения данной проблемы. Одним из вариантов такого решения является использование автономных систем пожаротушения, что, в определенных случаях, позволит системе

самостоятельно справиться с пожаром, либо даст выигрыш по времени пожарному расчету.

Цель настоящей работы заключалась в разработке автономной системы пожаротушения, главными отличительными характеристиками которой должны быть простота конструкции, надежность и низкая стоимость.

В силу отсутствия надежного водоснабжения на ряде объектов автономная система пожаротушения исключает использование воды в качестве пожаротушающей жидкости. В данном случае в качестве тушащего агента могут выступать высокоэффективные газовые, аэрозольные или порошковые составы.

Использование порошковых модулей пожаротушения для нашего случая также не представляется возможным по причине значительной стоимости данного изделия, его габаритов и специфики размещения, что непригодно для жилых помещений. Что касается аэрозольных составов, то их использование ограничивается рядом специфических требований, касающихся категории защищаемого объекта и предельными температурами в зоне пожара.

Для решения проблем, описанных выше, нами предлагается конструкция газового пожаротушения, которая будет отличаться простотой конструкции, малыми габаритами, легкостью в монтаже и последующем обслуживании, а также привлекательной бюджетностью.

Принцип газового пожаротушения основан на использовании газов, не поддерживающих горение, и заключается в охлаждении зоны горения, замедления химической реакции (ингибирование) или просто вытеснение кислорода как окислителя из зоны горения³. В большинстве случаев газового пожаротушения используется диоксид углерода. Углекислый газ (CO₂) широко распространён в природе, имеет низкую стоимость, нетоксичен, не поддерживает горение, безопасен для окружающей среды. Как природное вещество, является одним из самых доступных газообразных огне-тушащих веществ. При разработке нашей системы выбор CO₂ в качестве тушащего агента был выбран по причине легкой доступности и низкой стоимости данного вещества.

Предлагаемая система представляет собой конструкцию, состоящую из баллона 1, содержащего сжиженный CO₂, и трубопровода 4, который служит для доставки и распределения тушащего агента в зоне пожара (рис. 1). Трубопровод может быть выполнен из стандартной стальной трубы диаметром 1/2 дюйма (12,7 мм). В защищаемой зоне тру-

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

² Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

³ ГОСТ Р 50969-96 «Установки газового пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний».

бопровод имеет перфорацию, предназначенную для выхода тушащего агента. Система для подачи тушащего агента 5 должна размещаться внутри помещения по периметру или площади потолка с учетом планировки защищаемого объекта 6 (рис. 1, 2).

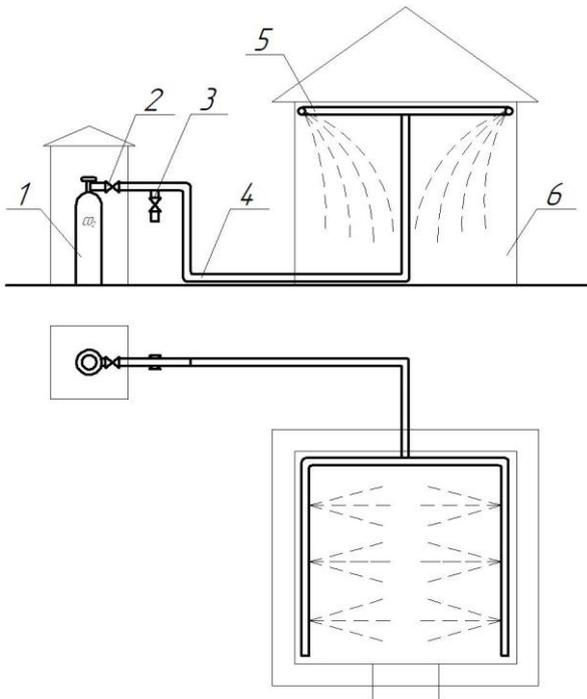


Рис. 1. Предлагаемая система газового пожаротушения:

- 1 – баллон с газом;
- 2 – кран-клапан основного баллона;
- 3 – кран-клапан для подключения дополнительного баллона;
- 4 – трубопровод;
- 5 – система подачи тушащего агента;
- 6 – защищаемый объект

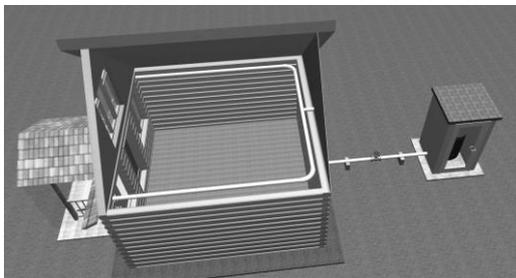


Рис. 2. Общий вид разрабатываемой системы пожаротушения

Предполагается, что трубы в эстетических целях могут закрываться декоративными накладками из пенополиуретана.

Подвод CO_2 к данному участку осуществляется по трубопроводу, выполненному из трубы того же диаметра, которая имеет выход на улицу и на некотором расстоянии от здания (что должно обеспечивать безопасность газового баллона при пожаре) подсоединяется через клапанно-запирающее устройство 2 (рис.1) к стандартному газовому баллону с CO_2 (рис. 3).



Рис. 3. Стандартные газовые баллоны с CO_2

Заправленный углекислотой баллон устанавливается на улице в специальном шкафу с ограничением свободного доступа к нему посторонним лицам (рис. 1, 2). Снаружи шкаф должен быть оборудован соединительным устройством 3 (рис. 1), позволяющим произвести подключение дополнительного баллона.

Работа предлагаемого устройства заключается в том, что при возникновении пожара, собственнику или другим лицам, покидающим помещение, достаточно задействовать систему дистанционного управления клапанным устройством баллона для обеспечения подачи огнетушащего газа в зону пожара. Для управления подачей газа может быть использован электромагнитный клапан с дистанционным проводным или беспроводным выключателем. В настоящее время промышленностью выпускается широкий спектр подобных устройств, рассчитанных на использование постоянного и переменного тока различного напряжения (рис. 4).

Такой клапан может быть запитан либо от сети переменного тока, либо от источника питания постоянного тока, например, аккумуляторной батареи. Включение клапана может осуществляться от стандартного ручного выключателя, замыкающего электрическую цепь питания электромагнитной катушки клапана,

либо с помощью более сложного беспроводного электрокомандного устройства. Данный выключатель должен располагаться в доступном месте вблизи от входа/выхода из помещения. Может быть предусмотрено дублированное управление электромагнитным клапаном.



Рис. 4. Внешний вид электромагнитных газовых клапанов

Возможность подсоединения к газовой магистрали дополнительного баллона обусловлена тем, что, если у собственника домовладения на момент пожара по какой-то причине неисправен или отсутствует штатный баллон, либо необходима подача дополнительного количества газа для обеспечения ликвидации горения, то прибывшие пожарные могут в кратчайшие сроки доставить, установить и задействовать в точности такой же баллон, который будет перевозиться в пожарном автомобиле.

В целом при проектировании такой системы применительно к реальному объекту должен производиться расчет количества газа, необходимого для обеспечения тушения пожара исходя из объема помещения. При этом предполагается, что огнетушащий газ не должен полностью замещать весь воздух в объеме – при подаче газа будет обеспечиваться снижение общего количества кислорода в воздушной смеси за счет вытеснения части воздушной массы из помещения и замещение вытесненного объема углекислотой. Так как горючесть большинства веществ характеризуется показателем кислородного индекса, то в данном случае следует ожидать того, что горячая среда, вовлеченная в пожар, потеряет способность к самостоятельному горению⁴. Этому должно способствовать также снижение температуры внутри объема помещения, обусловленного испарением сжиженного газа. Данные предположения безусловно требуют

экспериментальной проверки и отработки, чтобы дать возможность в последующем использовать априорные методы расчета системы под параметры защищаемого объекта.

Однако стоит помнить о том, что любой вид системы газового пожаротушения должен использоваться только при условии отсутствия людей в помещении. Утечка газа или неправильное рассчитанное время эвакуации может привести к гибели людей от удушья и отравления CO₂.

В тоже время не стоит исключать возможность автоматизации данной системы. Однако этот вопрос требует тщательной проработки на предмет выбора безопасного для человека и окружающей среды огнетушащего газа, например, фреона, а также средств контроля и автоматики. Безусловно, такая система будет иметь более высокую стоимость и должна быть просчитана с условием экономической привлекательности для потенциального потребителя. При этом не следует исключать возможности поэтапного усложнения системы за счет ее автоматизации, что не потребует единовременного вложения крупных затрат. Для потребителя такой вариант будет иметь экономическую привлекательность как своеобразная рассрочка платежа. Техническое же решение данного вопроса не должно вызвать

⁴ ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) «Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

серьезных затруднений, так как аналоги подобной системы уже имеются, и ряд из них успешно эксплуатируется [1].

Еще одним вариантом в чем-то похожей системы автономного пожаротушения является устройство тушения тонкораспыленной водой. Такая система может быть реализована на участках домовладений, где имеются источники водоснабжения природного или искусственного происхождения. Идеальным вариантом является наличие индивидуальной скважины. В данном случае техническое исполнение системы пожаротушения будет выглядеть аналогично описанному ранее устройству газового пожаротушения. Пожаротушащая жидкость подается с помощью бытового насоса через систему стационарных трубопроводов к очагу пожара. Распыление воды осуществляется с помощью форсунок, которые могут располагаться блоком на трубах, размещаемых под потолком вдоль двух противоположных стен помещения, либо по площади потолка индивидуальными распылительными системами, соединенными в единую систему с помощью гибких шлангов, которые могут располагаться за панелями навесного фальшпотолка, либо на чердаке здания. Как уже отмечалось система запитывается от бытового насоса, который подсоединяется к наружной части трубопровода быстроразъемным со-

единением. Внешний вид таких соединителей представлен на рис. 5.



Рис. 5. Виды быстроразъемных соединителей

Распыление воды осуществляется от стандартных регулируемых форсунок, которые производятся отечественными предприятиями, выполнены из коррозионностойких материалов и имеют низкую стоимость. Данные устройства (рис. 6.) предназначены для создания водяных завес и водяного тумана. Факел распыления воды и размер капель может регулироваться в некоторых пределах, что важно для нашего случая, т.к. каждый индивидуальный объект требует оптимального подбора параметров распыления огнетушащей жидкости.



Рис. 6. Виды водораспылительных форсунок

Бытовые водяные насосы представлены достаточно широкой линейкой образцов. Одним из наиболее бюджетных и, наверное, самым популярным вариантом такого устройства является погружной насос мембранного типа «Малыш». Он обеспечивает достаточно высокое давление в системе ($P = 0,4$ МПа) и способен подать воду на высоту до 40 метров. Расход воды составляет при подаче на 1 м высоты 1050 л/час и 430 л/час при подаче на высоту 40 м⁵.

Так как вода может забираться из загрязненных источников, то для недопущения загрязнения форсунок между ними и насосом должна осуществляться очистка и фильтрация воды. В данном случае можно также подобрать готовые системы, выпускаемые промышленностью, например, автомобильные топливные фильтры. На всасывающей патрубке насоса должна осуществляться очистка воды от грубых загрязнений (рис. 7).

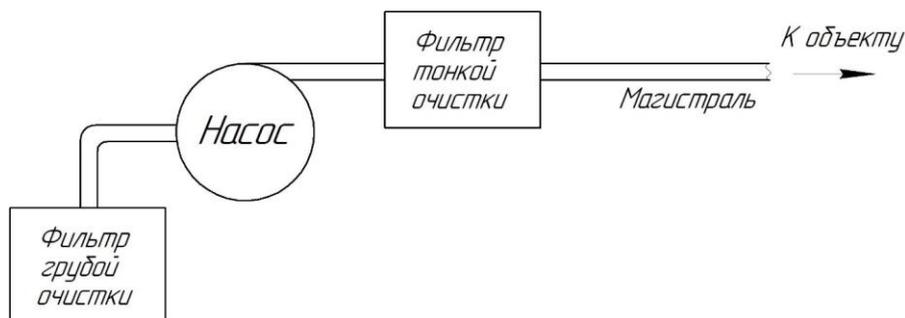


Рис. 7. Схема очистки воды от загрязнений

В изначальном виде запуск системы пожаротушения предполагается осуществлять вручную. Это связано с тем, что система не снабжается индивидуальным насосом – для этого предполагается использование бытового насоса. Следует отметить, что такая система тушения пожара может быть легко автоматизирована. В данном случае система автоматики будет достаточно простой и не потребует от собственника существенных затрат.

В заключение вышесказанного считаем необходимым акцентировать внимание на том, что представленные автономные системы пожаротушения для объектов индивидуального жилищного строительства находятся в стадии разработки и нуждаются в проведении дополнительных расчетов и экспериментальных проверок. Рассмотренная проблема является актуальной и требует взвешенных подходов и решений, направленных на создание простых в эксплуатации и недорогих систем пожаротушения, что объясняется добровольным решением собственника обеспечить защиту своего имущества от пожара [2]. Привлекательной стороной предлагаемой идеи является именно практичность и простота в эксплуатации, а также низкая себестоимость при изготовлении, монтаже и обслуживании.

Подводя итог вышеизложенному материалу считаем необходимым сделать следующие выводы:

- разработка автономной системы пожаротушения для частных домовладений является актуальной задачей;
- основными требованиями к разрабатываемой системе являются: низкая стоимость, простота конструкции, доступный и несложный монтаж, возможность обслуживания и эксплуатации собственником домовладения;
- для разработки технической документации на разрабатываемую систему необходимо проведение ряда экспериментальных проверок, направленных на оценку технических возможностей бытовых водяных насосов и распылительных головок, а также проведение расчетов, связанных с определением объема и давления инертных газов, необходимых для обеспечения надежного тушения возгорания в замкнутом пространстве известного объема;
- следует отметить коммерциализуемость предлагаемого проекта, что объясняется как малой затратностью для пользователя системы, так и не представляющей сложности ее изготовления для производителя. Выражаем надежду, что решение данной проблемы будет поддержано органами пожарного надзора, которые заинтересованы в снижении пожарной опасности частного сектора.

⁵ <https://m-strana.ru/articles/nasos-malysh-tekhnicheskie-kharakteristiki>.

Список литературы

1. Квасов М. В., Легкова И. А. О современных системах пожаротушения // Пожарная и аварийная безопасность: материалы XV Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 198–200.

2. Квасов М. В., Легкова И. А. Пути повышения уровня огнестойкости сооружения // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: материалы Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 271–275.

References

1. Kvasov M. V., Legkova I. A. O sovremennykh sistemakh pozharotusheniya [About modern fire extinguishing systems]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2020, pp. 198–200.

2. Kvasov M. V., Legkova I. A. Puti povysheniya urovnya ognestoykosti sooruzheniya [Ways to increase the level of fire resistance of a structure]. *Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy i tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021. pp. 271–275.

Квасов Михаил Владимирович

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

Курсант

E-mail: legkovai@mail.ru

Kvasov Mikhail 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

Student

E-mail: mihaths@mail.ru

Легкова Ирина Анатольевна

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: legkovai@mail.ru

Legkova Irina Anatolievna

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of technical sciences, assistant professor

E-mail: legkovai@mail.ru

Никифоров Александр Леонидович

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

доктор технических наук, профессор

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Alexander Leonidovich

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of technical sciences, professor

E-mail: anikiforoff@list.ru

УДК 331.453

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВАРИЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

И. М. КУЛИКОВ, В. Б. БУБНОВ

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

В работе отмечены недостатки существующих подходов к математическому описанию процессов аварийного истечения из аппаратов (участков трубопроводов), содержащих углеводородные смеси. Разработана модель исследуемого процесса с учетом всех основных факторов, влияющих на качество расчетных прогнозов при ее численной реализации. Рассматриваемый процесс включает три стадии: истечение жидкости, истечение газожидкостной смеси и истечение газа. Представлены результаты ряда выполненных расчетных экспериментов. Модель положена в основу программно-аппаратного комплекса, который может быть полезен при организации образовательного процесса, в том числе при дистанционном обучении. Математическая модель и методика расчета на ее основе могут использоваться для прогнозирования динамики аварийного истечения, расчете массы и состава жидкого неиспаряемого остатка в аппарате, представляют интерес для разработки актуализированной научно-методической базы с целью совершенствования образовательной и научно-исследовательской деятельности образовательных организаций.

Ключевые слова: аппарат, аварийное истечение, массовый расход, фазовое состояние, динамика, углеводородная смесь, прогнозирование.

SIMULATION OF EMERGENCY OUTFLOW OF HYDROCARBON MIXTURES

I. M. KULIKOV, V. B. BUBNOV

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 notes the shortcomings of existing approaches to the mathematical description of the processes of emergency outflow from apparatuses (pipeline sections) containing hydrocarbon mixtures. A model of the process under study has been developed taking into account all the main factors affecting the quality of computational forecasts in its numerical implementation. The process under consideration includes three stages: liquid outflow, gas-liquid mixture outflow and gas outflow. The results of a number of performed computational experiments are presented. The model is the basis of a software and hardware complex, which can be useful in organizing the educational process, including distance learning. The mathematical model and the calculation method based on it can be used to predict the dynamics of the emergency outflow, calculate the mass and composition of the liquid non-evaporable residue in the apparatus, and are of interest for the development of an updated scientific and methodological base in order to improve the educational and research activities of educational organizations.

Key words: apparatus, emergency outflow, mass flow, phase state, dynamics, hydrocarbon mixture, forecasting.

Аварийный слив жидкостей из участков технологических трубопроводов, аппаратов — один из способов предотвращения развития пожара. Аварийное истечение из емкости, содержащей углеводородную смесь, представля-

ет собой весьма сложный процесс. В данном процессе происходит непрерывное изменение температуры, давления, фазового состояния смеси (жидкость, газ-жидкость, газ), компонентных составов фаз, физических свойств, коэффициента сверхсжимаемости, т.е. процесс является нестационарным, что не учитывается в

существующих методиках¹. Существующие в настоящее время методы расчета рассматривают исследуемые процессы как однофазное истечение. При этом используются осредненные по времени физические свойства.

Значительные погрешности в прогнозировании процессов аварийного истечения рассматриваемых сред, опорожнения емкостей (либо участков трубопроводных систем), в которых содержатся углеводородные смеси, с использованием существующих методик, и как следствие ошибки в принятии управленческих решений, обуславливают актуальность работы. К примеру, объектами исследования могут являться участки нефтегазопроводов, аппараты и устройства нефтегазохранилищ. Актуальным вопросом также является совершенствование научно-методической и учебной базы образовательных организаций МЧС России.

Целью работы является разработка модели процесса аварийного истечения углеводородных смесей, позволяющей прогнозировать динамику процесса, которая войдет в состав актуализированной научно-методической базы.

В методике² приводятся зависимости для определения расходов при истечении отдельно для жидкой фазы и паровой фазы. При этом не учитывается, что в аппарате может находиться парожидкостная смесь, а соотношение расходов истечения жидкости и газа зависит от их долей. Также не учитывается динамика процесса истечения. Расчетные зависимости расходов истечения приводятся в функции температуры, давления, плотности, однако данные параметры также изменяются по мере опорожнения аппарата (аварийного участка трубопровода).

Подходы к расчету процессов аварийного истечения и предлагаемые рядом авторов методики [1-4] дают существенные погрешности расчетных прогнозов, причинами чего являются допущения (идеальность газа, изотермичность процесса), а изменения в процессе отдельных важных параметров среды (теплоемкость, показатель адиабаты) игнорируются. Не принимается во внимание также изменение температуры при расширении газа вследствие его неидеальности, изменение давления вблизи отверстия истечения из-за движения к отверстию газа.

Выполненный анализ моделей, методик расчета позволил выявить основные моменты,

которые необходимо учитывать при математическом моделировании и разработке методики расчета для качественного прогнозирования и исследования динамики процессов истечения, опорожнения сосудов (участков трубопроводов), содержащих углеводородные смеси.

Рассмотрим процесс аварийного истечения из емкости, содержащей углеводородную смесь. Давление в ней уменьшается до давления насыщения (для данной температуры), начинает выделяться газовая фаза. Оставшаяся в аппарате жидкость может полностью перейти в газовую фазу в случае длительного процесса опорожнения. Это значит, что исследуемый процесс истечения нестационарный и включает в себя следующие три стадии: первая стадия «Истечение смеси газ-жидкость», вторая стадия «Истечение газовой фазы». Каждая из указанных стадий математически описывается различными зависимостями, подчиняется различным закономерностям.

Таким образом, исследуемый процесс многостадийный. Временной шаг Δt . k - номер шага.

На шаге k расход истечения жидкости (массовый) равен [5]:

$$m^k = \mu \omega \sqrt{2\rho^k (p^k - p_o)}. \quad (1)$$

В этой зависимости: p_o – давление окружающей среды, p^k – давление в сосуде на шаге k , ω – площадь сечения отверстия истечения; μ – коэффициент расхода отверстия истечения; ρ^k – плотность жидкости в аппарате на шаге k .

На шаге $k+1$ параметры среды:

Давление в аппарате

$$p^{k+1} = p^k - E(\rho^k - \rho^{k+1})/\rho^k, \quad (2)$$

где E – изотермический модуль упругости жидкости (объемный).

Масса M и плотность ρ жидкости в аппарате:

$$M^{k+1} = M^k - m^k \Delta t, \quad (3)$$

$$\rho^{k+1} = M^{k+1}/V, \quad (4)$$

где V – объем аппарата.

Вычисленное по выражению (2) давление в определенный момент времени достигнет значения давления насыщения p_s . При этом возникнет газовая фаза (вскипание находящейся в аппарате жидкости).

¹ Приказ МЧС России от 01 июня 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

² Там же.

Следует отметить, что возможно прохождение исследуемого процесса в этом случае по двум различным вариантам:

Первый вариант «Расположение отверстия истечения в верхней части аппарата. Отверстие малое».

Второй вариант «Расположение отверстия истечения на большом расстоянии от верха аппарата. Отверстие не является малым (его эквивалентный диаметр более 0,1 высоты аппарата)».

В первом варианте выделяющийся из жидкости газ сосредотачивается в верхней части аппарата и имеет место истечение газовой фазы. Объем газовой фазы в аппарате постоянно увеличивается, поскольку происходит испарение жидкой фазы.

Во втором варианте происходит истечение газожидкостной смеси.

В обоих рассматриваемых вариантах давление в аппарате постоянно и равно давлению насыщения. Изменением температуры среды внутри аппарата пренебрегаем (ее уменьшение из-за адиабатного расширения газа будет компенсироваться теплообменом с окружающей средой).

При реализации первого варианта расчет расхода истечения (массового) [3] выполняется по уравнению:

$$m^k = \mu \omega \sqrt{\frac{2k_a}{k_a - 1} p_s \rho_m^k \left(y^{\frac{2}{k_a}} - y^{\frac{k_a+1}{k_a}} \right)}. \quad (5)$$

В этом уравнении: k_a - показатель адиабаты; ρ_m^k – плотность газожидкостной смеси.

В этом уравнении плотность газожидкостной смеси следует заменить плотностью газовой фазы. Критическое отношение давлений при этом следует определять по известной формуле [3].

При реализации второго варианта возможны два режима:

Первый режим «Критический». Отношение давлений в данном случае $y = p_o/p^k$ меньше критического y_c .

Второй режим «Докритический».

Для определения фазового состояния углеводородных смесей и теплофизических свойств их компонентов исходя из их состава существуют различные методики. Рекомендуют использовать методику [6], для определения величины y_c – методику [7].

Расход истечения (массовый) газожидкостной смеси определяется по уравнению (5).

Плотность газожидкостной смеси определяется следующим образом:

$$\rho_m = \frac{1}{\frac{x_g}{\rho_g} + \frac{x_l}{\rho_l}}. \quad (6)$$

В этом выражении: x_g и x_l – концентрации газовой и жидкой фаз (массовые) в газожидкостной смеси, соответственно; ρ_g и ρ_l – плотности газовой и жидкой фаз, соответственно.

При $y < y_c$ в выражении (5) y принимается равным y_c .

В рассматриваемом процессе аварийного истечения газожидкостной смеси давление в аппарате можно считать постоянным, равным p_s . Изменяться будет только фазовое состояние газожидкостной смеси: возрастает массовая концентрация газовой фазы x_g , уменьшается массовая концентрация жидкой фазы x_l . В сумме $x_g + x_l = 1$.

Значение x_g^{k+1} можно определить из уравнения баланса:

$$\frac{M^k - m^k \Delta \tau}{V} = \rho_g x_g^{k+1} + \rho_l (1 - x_g^{k+1}). \quad (7)$$

Для решения задач по расчету параметров процессов аварийного истечения, проведения численных исследований также разработан программно-аппаратный комплекс – виртуальная лаборатория на основе имитационного моделирования «Исследование процессов истечения из резервуаров». В основе программно-аппаратного комплекса – разработанная математическая модель. Общая схема представлена на рис. 1. Интерфейс комплекса включает: блок ввода параметров управления исследуемым процессом; схему экспериментальной установки; блок вывода результатов численного эксперимента.

Следует отметить, что при проведении лабораторных занятий дистанционно, выполнении научно-исследовательских работ, выпускных квалификационных работ при дистанционном обучении, использование программно-аппаратных комплексов в виде виртуальных лабораторий в образовательном процессе является весьма перспективным [8]. Их применение открывает широкие возможности для исследовательских работ благодаря возможности варьирования управляющими, исходными параметрами изучаемых процессов.

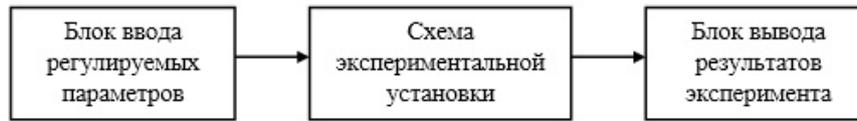


Рис. 1. Общая схема программно-аппаратного комплекса

Некоторые результаты численных исследований представлены на рис. 2–4.

На рис. 2 показаны графики по результатам моделирования исследуемого процесса аварийного истечения из стандартной цистерны, в которой перевозятся сжиженные углеводородные газы. Объем составляет $55,7 \text{ м}^3$, начальное давление $2,0 \text{ МПа}$. Отверстие истечения диаметром 10 мм . Параметры смеси: показатель адиабаты $1,436$, плотность жидкой фазы 600 кг/м^3 , плотность газа 40 кг/м^3 .

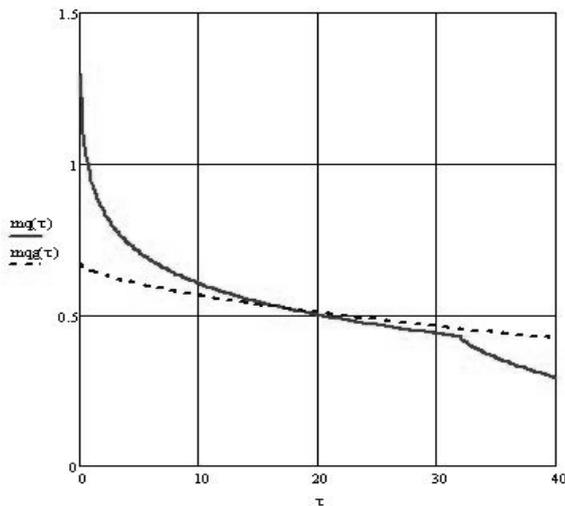


Рис. 2. Изменение расхода (массового) при аварийном опорожнении аппарата (сплошная линия – истечение смеси газ-жидкость; пунктирная линия – истечение газовой фазы)

Первую стадию процесса «Истечение жидкости», по окончании которой давление в аппарате понизилось до давления насыщения, наблюдать на графике рис. 2 не представляется возможным ввиду ее кратковременности. На кривой (сплошная линия) излом характеризует переход от второй стадии процесса «Истечение газожидкостной смеси» к третьей стадии – «Истечение газа». Время полного опорожнения резервуара определять не имеет практического смысла – процесс асимптотический. В этом случае длительное время расход приближается к нулю.

Сравнение величин критического отношения давлений для газожидкостной смеси и для газа показано на рис. 3. При выполнении расчетов значение параметров смеси такое же, как для рис. 2. Как и следовало ожидать, при массовой концентрации газа $x_g = 1$ расчетные величины y_c совпадают.

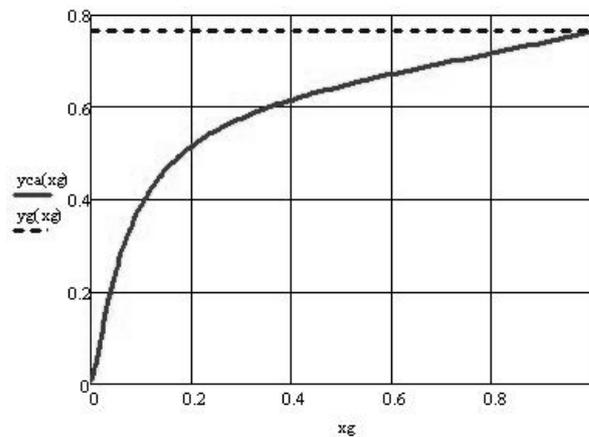


Рис. 3. Зависимость критического отношения давлений от массовой концентрации газа (сплошная линия – смесь газ-жидкость; пунктирная линия – газовая фаза)

Некоторые результаты численных исследований по определению массовой скорости истечения приведены на рис. 4. Результаты представлены по двум вариантам: Первый вариант «Истечение газожидкостной смеси». Второй вариант «Истечение газа».

В первом варианте на начальном этапе расход истечения значительно больше, чем по второму варианту. Затем он постепенно уменьшается. При выполнении вычислений принималось: величины плотностей газовой и жидкой фаз такие же, как для рис. 2, давление насыщения $1,4 \text{ МПа}$.

Расчетами также установлено, что при определении массовой скорости истечения с использованием модели идеального газа, ошибка возрастает при увеличении молекулярной массы газа и давления. Это обстоятельство при выполнении расчетных прогнозов может привести к завышению величины массового расхода до 35% .

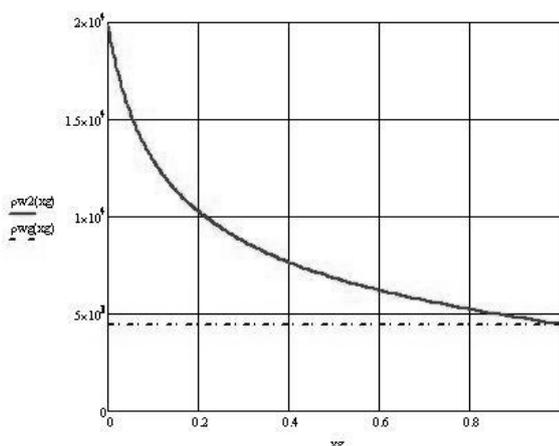


Рис. 4. Зависимость скорости истечения (массовой) от массовой концентрации газовой фазы (сплошная линия – истечение смеси газ-жидкость; пунктирная линия – истечение газовой фазы)

Представленная модель и рекомендации по ее использованию могут применяться для прогнозирования динамики опорожнения участков трубопроводов (аппаратов), содер-

жащих углеводородные смеси, позволит прогнозировать динамику расхода истечения и физических свойств смеси в процессе опорожнения аппарата, рассчитывать массу и состав жидкого неиспаряемого остатка в аппарате, в том числе использоваться для адекватной оценки экологического ущерба вследствие аварийных разливов, затрат на их ликвидацию, а также для рационального планирования ремонтных работ, планирования мероприятий по обеспечению безопасности персонала и применяемого оборудования.

Математическая модель, методические рекомендации по ее использованию войдут в состав разрабатываемой актуализированной научно-методической базы, включающей в себя современные методики расчетов и рекомендации, позволяющие использовать методы моделирования и повысить точность расчета процессов и проектных и экспертных работ в области обеспечения пожарной и промышленной безопасности и способствующей совершенствованию научно-методической и учебной деятельности образовательных организаций МЧС России.

Список литературы

1. Лурье М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. М.: Изд. Центр РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2012. 456 с.
2. Куцова Е. В., Сердюков С. Г., Васильев Е. М. Математическое моделирование аварийных режимов магистральных газопроводов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 9. С. 17–21.
3. Ashford F. E., Pierce P. E. Determining multiphase pressure drops and flow capacities in downhole safety valves. JPT, 1975, p. 1145.
4. Van den Bosch C. J. H., Wetterings R. A. P. M. (Eds). Methods for the calculation of physical effects Yellow book CPR 14E (Part 2). 3rd ed., Sdu Uitgevers, The Hague, 1997. pp. 6.17–6.138.
5. Brill J. P., Mukherjee H. Multiphase flow in wells. Henry L. Doherty Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc. Richardson. Texas, 1999. 157 p.
6. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие. Л.: Химия, 1982. 592 с.
7. Чугаев Р. Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат. Ленинградское отд., 1982. 672 с.

8. Подходы к проведению лабораторных занятий при дистанционном обучении / В. Б. Бубнов, М. А. Правдов, И. А. Парасич [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2021. № 2 (21). С. 53–60.

References

1. Lur'ye M. V. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov truboprovodnogo transporta nefiti, nefteproduktov i gaza* [Mathematical modeling of the processes of pipeline transportation of oil, oil products and gas]. Moscow: Izd. Tsentr RGU nefiti i gaza im. I. M. Gubkina, 2012, 456 p.
2. Kutsova Ye. V., Serdyukov S. G., Vasil'yev Ye. M. *Matematicheskoye modelirovaniye avariynykh rezhimov magistral'nykh gazoprovodov* [Mathematical modeling of emergency modes of main gas pipelines]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 7, issue 9, pp. 17–21.
3. Ashford F. E., Pierce P. E. Determining multiphase pressure drops and flow capacities in downhole safety valves. JPT, 1975, p. 1145.
4. Van den Bosch C. J. H., Wetterings R. A. P. M. (Eds). *Methods for the calculation of physical effects Yellow book CPR 14E (Part 2)*. 3rd ed., Sdu Uitgevers, The Hague, 1997. pp. 6.17–6.138.

5. Brill J. P., Mukherjee H. Multiphase flow in wells. Henry L. Doherty Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc. Richardson. Texas, 1999. 157 p.

6. Rid R., Prausnitz Dzh., Shervud T. *Svoystva gazov i zhidkostey: Spravochnoye posobiye* [Properties of Gases and Liquids: A Reference Guide]. Leningrad: Khimiya, 1982, 592 p.

7. Chugayev R. R. *Gidravlika* [Hydraulics]. Leningrad: Energoizdat. Leningradskoye otd., 1982, 672 p.

8. Podkhody k provedeniyu laboratornykh zanyatiy pri distantsionnom obuchenii [Approaches to conducting laboratory classes in distance learning] / V. B. Bubnov, M. A. Pravdov, I. A. Parasich [et al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2021, vol. 2 (21), pp. 53–60.

Куликов Илья Михайлович

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

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: kafppv@mail.ru

Kulikov Ilya Mikhailovich

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

Russian Federation, Ivanovo

adjunct of the adjunct

E-mail: kafppv@mail.ru

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

УДК 628.147.22

О РЕЗУЛЬТАТАХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ СЕРОВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ

А. С. МИТРОФАНОВ, С. А. СЫРБУ, Д. А. УЛЬЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: mitart1992@mail.ru, syrbye@yandex.ru, deezz@mail.ru

Кроме коррозионного разрушения технологического оборудования сероводородная коррозия опасна во взрывопожарном отношении, так как при протекании химических реакций образуются продукты, склонные к самовозгоранию. В нефтедобывающей отрасли эти отложения зачастую представляют собой смесь продуктов реакции взаимодействия сероводорода и железа. Одним из способов решения проблемы может стать покрытие контактирующей с сероводородом стальной поверхности композитными составами.

В статье говорится о том, что наряду с защитными свойствами, разрабатываемые композитные составы должны обладать высокими эксплуатационными свойствами, такими как адгезия, эластичность, стойкость к воздействию агрессивных сред, стойкость к статическому воздействию жидкостей.

Предложена оптимизированная методика определения адгезионной прочности композитных материалов к поверхности стали методом отрыва. Доказана корректность данных, полученных с использованием оптимизированной методики, и усовершенствованного лабораторного оборудования.

Представлены результаты испытаний некоторых механических свойств матрицы защитных композиционных покрытий.

Ключевые слова: сероводородная коррозия, пирофорные отложения, композитный материал, адгезия, агрессивная среда

ON THE RESULTS OF LABORATORY TESTS OF SOME MECHANICAL PROPERTIES OF COATINGS USED TO PROTECT TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FROM HYDROGEN SULFIDE CORROSION

A. S. MITROFANOV, S. A. SYRBU, D. A. ULIEV

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: mitart1992@mail.ru, syrbye@yandex.ru, deezz@mail.ru

In addition to the corrosive destruction of technological equipment, hydrogen sulfide corrosion is dangerous from the point of view of explosion and fire, since chemical reactions produce products prone to spontaneous combustion. In the oil industry, these deposits are often a mixture of hydrogen sulfide and iron reaction products. One of the ways to solve the problem may be to cover the surface of steel in contact with hydrogen sulfide with composite compositions.

The article says that along with the protective properties, the developed composite compositions should have high performance properties, such as adhesion, elasticity, resistance to aggressive media, resistance to static effects of liquids.

An optimized method for determining the adhesive strength of composite materials to the surface of steel by separation is proposed. The correctness of the data obtained using optimized methodology and improved laboratory tests has been proved.

Key words: hydrogen sulfide corrosion, pyrophoric deposits, composite material, adhesion, aggressive environment.

Одной из проблем процесса хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарах и емкостях является сероводородная коррозия. Кроме коррозионного разрушения технологического оборудования сероводородная коррозия опасна во взрывопожарном отношении, так как при протекании химических реакций образуются продукты, склонные к самовозгоранию. В нефтедобывающей отрасли эти отложения зачастую представляют собой смесь продуктов реакции взаимодействия сероводорода и железа.

На наш взгляд, вопросам образования пиррофорных отложений и их пожарной опасности в нормативных документах, регламентирующих правила эксплуатации технологического оборудования для хранения нефти и нефтепродуктов, уделено недостаточно внимания. В большей степени описан порядок проведения очистки резервуаров от пиррофорных отложений и их последующего хранения и утилизации [1]. Анализ публикационной активности специалистов, занимающихся разработкой методов защиты технологического оборудования от сероводородной коррозии, и как следствие, от образования пиррофорных отложений показал, что большинство ученых идет либо по пути дезактивации уже образовавшихся пиррофоров, либо по пути предотвращения их образования путем добавления в сырье ингибиторов коррозии. Несмотря на усилия специалистов в области обеспечения пожарной безопасности, в настоящее время в нефтегазовой отрасли проблема возникновения пожаров по причине воспламенения пиррофорных отложений не решена, а пожары по указанной причине продолжают происходить как в России, так и в зарубежных государствах. В связи с этим, исследования, направленные на решение данной проблемы, актуальны и требуют разнопланового и разнопланового подхода.

Как отмечалось нами ранее [2], одним из способов решения проблемы может стать покрытие контактирующей с сероводородом стальной поверхности композитными составами. Для этого нами был предложен ряд таких составов, разработанных на основе поликарбонидной смолы (полиэпокси) в качестве матрицы с добавлением в нее различных действующих агентов, потенциально препятствующих протеканию сероводородной коррозии. В настоящее время ведется активная работа по оценке влияния этих агентов на скорость сероводородной коррозии и выбору оптимального содержания наполнителей в композитном ма-

териале путем проведения различных лабораторных экспериментов.

Наряду с защитными свойствами разрабатываемые композитные составы должны обладать и высокими эксплуатационными свойствами. В связи с этим, целью данной работы является испытание полиэпокси на предмет соответствия ее физико-механических свойств требуемым параметрам.

Матрица композитного состава должна обладать такими свойствами как высокая адгезия и эластичность. Для подтверждения необходимости этого можно привести пример, описанный в лекции В.И. Феодосьева «О температурных напряжениях» [3]. При нормальном тепловом воздействии на резервуар, как правило, заполненный на 80-85 % нефтепродуктом, температура стенки меняется. Однако изменения температуры в этом случае неравномерны. В верхней части резервуара, не соприкасающейся с жидкостью, температура стенки будет выше, чем в его нижней части. Такая неравномерность в данном случае обусловлена отводом тепла в жидкость. В результате возникают заметные меридиональные напряжения, и оболочка в зоне сжатия может потерять устойчивость. На оболочке в этом случае появятся местные неглубокие вмятины, что не сказывается на несущей способности резервуара, однако может привести к отслоению и растрескиванию защитного покрытия в местах локальных повреждений.

Для оценки адгезии матрицы предлагаемых покрытий нами был применен метод решетчатого надреза в соответствии с методикой¹. В результате проведения испытаний на качественную устойчивость к отслоению разработанных составов были получены максимальные показатели, предусмотренные методикой (рис. 1). В связи с этим возникла необходимость дать количественную оценку адгезионной прочности матрицы к поверхности стали.

Для решения поставленной задачи существуют стандартные, промышленно выпускаемые приборы для измерения прочности адгезии, такие как: «Оникс 1.АГ», «АМЦ-1», «АЦ-1» и т.д. Однако размеры образцов, используемых в эксперименте, налагают ограничение на практическое применение данных приборов. Максимальный продольный размер об-

¹ ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013) Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза.

разца меньше установочной базы большинства выпускаемых приборов. Кроме того, подготовка и проведение одного испытания требует значительных временных затрат. Согласно методике² для проведения одного испытания требуется не менее 12 часов. Таким образом, проведение испытаний по стандартной методике для получения выборки величин усилия отрыва покрытия от подложки, включающее в себя более тысячи значений, нерационально. Следовательно, для эффективного решения поставленных задач методика требует корректировки, а лабораторное оборудование – конструктивной доработки.

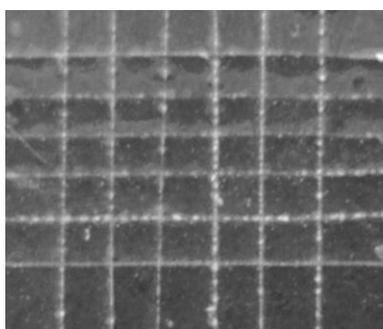


Рис. 1. Результат проведения испытания на прочность адгезии методом решетчатого надреза

В качестве разрывного устройства, а также устройства фиксирующего значения усилия, использовалась разрывная машина (Р-5). Основными недостатками установки для решения поставленной задачи явилось отсутствие возможности фиксации пластины в горизонтальной плоскости и тонкого регулирования соосности между верхним и нижним зажимом. В качестве конструктивной доработки разрывной машины было разработано и изготовлено вспомогательное удерживающее устройство, которое позволило фиксировать образцы в горизонтальной плоскости и при этом быстро производить их замену для проведения последующих испытаний.

С целью недопущения отклонения усилия отрыва от вертикали, а также предварительного нагружения, создаваемого при фиксации образца и заготовки в верхнем и нижнем зажимах разрывной машины, промежуточное устройство (рис. 2) фиксировалось с помощью гибких связей.

Проведение испытания на адгезию заключалось в фиксации усилия, необходимого для отрыва защитного покрытия от металлической пластины (образца). Для этого стальной цилиндр диаметром 20 мм и высотой 30 мм (заготовка) приклеивался к поверхности покрытия. Покрытие вокруг заготовки прорезалось до основания. После чего на заготовку оказывалось усилие, значение которого в момент отрыва фиксировалось.

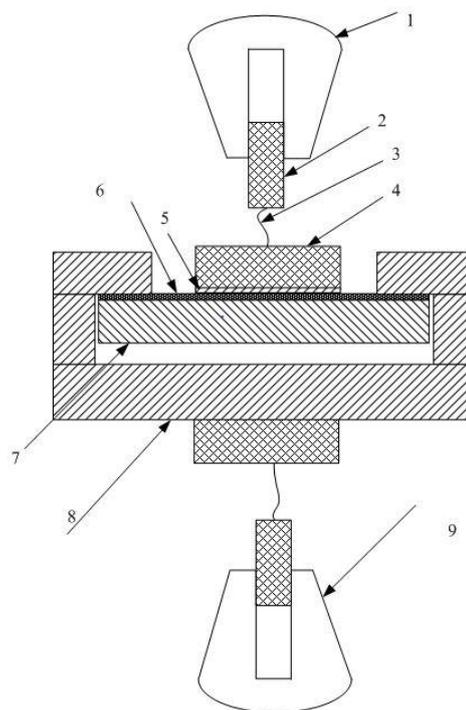


Рис. 2. Схематичное изображение устройства для фиксирования и центрирования образцов в разрывной машине:

- 1 – верхний зажим разрывной машины;
- 2 – стальной стержень; 3 – гибкая связь;
- 4 – заготовка; 5 – клей; 6 – покрытие;
- 7 – стальная пластина,
- 8 – удерживающее устройство;
- 9 – нижний зажим

Для проверки корректности получаемых данных, было проведено сравнение значений усилия отрыва, полученных с использованием промышленного прибора «Оникс 1. АП» и имеющего свидетельство о поверке, и оборудования, описанного выше. Для этого соответствующим образом были подготовлены образцы и проведено по 10 измерений с помощью каждого прибора (табл. 1).

² ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2002) Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва.

Таблица 1. Результаты измерения прочности адгезии

Наименование прибора	Адгезия, Мпа									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оникс 1. АП	1.35	1.36	1.38	1.40	1.37	1.35	1.36	1.39	1.34	1.36
P-5	1.37	1.36	1.39	1.39	1.35	1.34	1.38	1.35	1.36	1.34

Для оценки разницы между двумя представленными выборками величин был произведен расчет эмпирического значения критерия Манна-Уитни [4] по уравнению:

$$U_{\text{эмп}} = n_1 n_2 + \frac{n_x(n_x+1)}{2} - T_x, \quad (1)$$

где T_x – наибольшая сумма рангов, n_x – наибольшая из объемов выборок n_1 и n_2 .

С использованием принципа ранжирования были определены ранги для полученных величин прочности адгезии и произведен расчет эмпирического значения критерия, $U_{\text{эмп}}=45,5$. По таблице критических значений Манна-Уитни для уровня значимости $\alpha=0,05$ была определена критическая точка, $U_{\text{кр}}(0,05)=23$. Так как $U_{\text{кр}} < U_{\text{эмп}}$, была принята гипотеза о том, что с вероятностью 95 % различия в уровнях выборок можно считать не существенными. Таким образом, предлагаемое устройство позволяет значительно оптимизировать работу по измерению прочности адгезии в условиях поставленных задач. При

этом показано, что различия в результатах измерений можно считать не существенными.

Следует отметить, что для эффективности композиционного материала не так важна крайне высокая степень адгезии матрицы защитного состава к поверхности металла, как сохранение значений усилия отрыва при длительном воздействии агрессивных сред на обработанную поверхность. Кроме того, покрытие должно обладать достаточной стойкостью к статическому воздействию жидкостей. Для проверки надежности работы покрытия в агрессивных условиях были проведены испытания по определению усилия отрыва после экспонирования образцов в различных средах на протяжении 5 суток (табл. 2). Учитывая специфику условий, в которых планируется применение покрытий, в качестве жидкостей были применены автомобильный бензин (АИ-92) и товарная нефть. После извлечения из указанных жидкостей образцы высушивались при температуре $20 \pm 3^\circ\text{C}$ в течение 24 часов и подвергались испытанию на прочность адгезии методом отрыва.

Таблица 2. Результаты измерения адгезии при экспонировании образцов в различных средах

		Адгезия, Мпа						Среднее значение
		1	2	3	4	5	6	
Вид среды	Контрольная группа	1,36	1,41	1,38	1,36	1,37	1,40	1,38
	Автомобильный бензин (АИ-92)	1,37	1,34	1,36	1,39	1,35	1,38	1,37
	Товарная нефть	1,41	1,36	1,36	1,39	1,35	1,39	1,38

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что покрытие практически не теряет механических свойств при экспонировании образцов в агрессивных средах. При визуальном исследовании покрытия нарушения его целостности выявлено не было (рис. 2).

В ходе испытаний образцов на стойкость к статическому воздействию указанных выше жидкостей, проведенных в соответствии с методикой, был проведен визуальный

осмотр, в результате которого каких-либо изменений (отслоение, растрескивание, изменение цвета и уровня блеска) в структуре покрытий обнаружено не было. Изменений в результатах измерений толщины покрытия и массы обработанных образцов, проведенных до и после проведения испытаний, также не зафиксировано.

³ ГОСТ 9.403-80 (СТ СЭВ 5260-85) Единая система защиты от коррозии и старения

(ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей.

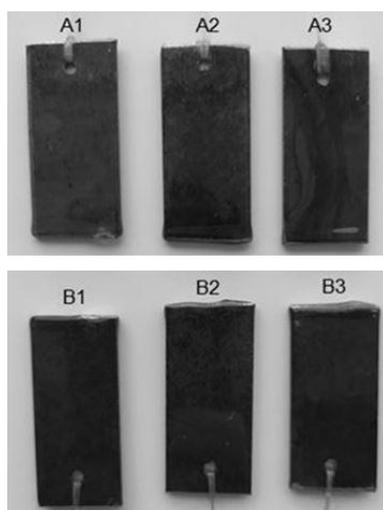


Рис. 3. Фотоизображение образцов покрытых поликарбамидной смолой (полиуретаном):
 А1, В1 – контрольные образцы;
 А2, А3 – экспонируемые
 в автомобильном бензине (АИ-92);
 В2, В3 – экспонируемые в нефти

Список литературы

1. Денисов Р. С. Повышение пожарной безопасности резервуаров для хранения высокосернистой нефти в условиях образования пиррофорных отложений: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. Уфа, 2012. 24 с.
2. Митрофанов А. С., Сырбу С. А. Проблемные вопросы защиты оборудования для хранения нефтепродуктов от образования пиррофорных отложений // Современные пожароопасные материалы и технологии: сборник материалов V Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 331–336.
3. ПроСопромат.ру Лекция-беседа В. И. Феодосьева «О Температурных расширениях» [Электронный ресурс]. <https://prosopromat.ru/lekcii-besedy-izbrannye-voprosy-i-zadachi-v-i-feodoseva/lekciya-beseda-v-i-feodoseva-o-temperaturnyx-napryazheniyax.html>. (дата обращения 13.04.2022).
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.

References

1. Denisov R. S. Povyshenie pozharnoj bezopasnosti rezervuarov dlya hraneniya vysokosernistoj nefti v usloviyah obrazovaniya pirofornyh otlozhenij. Avtoreferat diss. kand.

Выводы:

1. Разработка новых составов защитных композитных покрытий для оборудования, предназначенного для хранения нефти и нефтепродуктов, или модифицирование уже существующих является актуальным направлением для научных исследований в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты в нефтегазовой отрасли.
2. Устройство, предложенное в качестве конструктивной доработки разрывной машины, позволяет значительно оптимизировать работу по измерению адгезии в условиях поставленных задач. При этом доказано, что различия в результатах измерений можно считать несущественными.
3. Материал, предлагаемый в качестве матрицы композитных составов для защиты технологического оборудования от образования пиррофорных отложений, обладает достаточно высокими эксплуатационными свойствами, такими как адгезия и стойкость к статическому воздействию агрессивных жидкостей.

tekhn. nauk [Improving the fire safety of storage tanks for sour oil in the conditions of formation of pyrophoric deposits. Avtoreferat cand. tech. sci. diss.]. Ufa, 2012. 24 p.

2. Mitrofanov A. S., Syrbu S. A. Problemye voprosy zashchity oborudovaniya dlya hraneniya nefteproduktov ot obrazovaniya pirofornyh otlozhenij [Problematic issues of protecting equipment for the storage of petroleum products from the formation of pyrophoric deposits]. // *Sovremennye pozharoopasnye materialy i tekhnologii: sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021, С. 331–336.

3. ProSopromat.ru Lekciya-beseda V. I. Feodos'eva «O Temperaturnyh rasshireniyah» [Elektronnyj resurs]. <https://prosopromat.ru/lekcii-besedy-izbrannye-voprosy-i-zadachi-v-i-feodoseva/lekciya-beseda-v-i-feodoseva-o-temperaturnyx-napryazheniyax.html>. (data obrashcheniya 13.04.2022)

4. Gmurman V. E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie dlya vuzov [Probability Theory and Mathematical Statistics: Textbook for Universities]. М.: Vyssh. shk., 2003, 479 p.

Митрофанов Артур Сергеевич

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

E-mail: mitart1992@mail.ru

Mitrofanov Artur Sergeevich

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

Russian Federation, Ivanovo

Postgraduate student

E-mail: mitart1992@mail.ru

Сырбу Светлана Александровна

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

Head of the Department of Natural Sciences

E-mail: syrbue@yandex.ru

Ульев Дмитрий Андреевич

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

E-mail: deezz@mail.ru

Uliev Dmitrij Andreevich

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

Russian Federation, Ivanovo

Head of adjunct

E-mail: deezz@mail.ru

УДК 614.841.41

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Х. САЛИХОВА¹, С. А. СЫРБУ¹, О. Г. ЦИРКИНА¹, М. Р. КИСЕЛЕВ²

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

² Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
Российская Федерация, Москва

E-mail: salina_77@mail.ru, syrbye@yandex.ru, ogtsirkina@mail.ru, kisselev@phyche.ac.ru

Нанесение огнезащитных композиций позволяет исключить воспламенение тканого материала при попадании на его поверхность источника зажигания и позволяет ослаблять плотность теплового потока при прохождении через материал. Разработанные огнезащитные композиции на основе отечественных коммерческих препаратов с различными добавками позволяют получить трудновоспламеняемый материал. В качестве добавок используется кремнийорганическая смола, которая придает обработанным тканям устойчивость к негативным воздействиям, в том числе, производственной среды. Ткань после обработки не меняет физико-механических и специальных свойств, полученный материал соответствует требованиям национальных стандартов. Предложенная технология характеризуется низкой себестоимостью и высокими показателями обеспечения пожарной безопасности различного ассортимента текстильных материалов.

Ключевые слова: текстильный материал, огнезащитный состав, кремнийсодержащие соединения, воспламенение, антипирен, показатели пожарной опасности

INFLUENCE OF SILICON-CONTAINING ADDITIVES ON THE EFFECTIVENESS OF FLAME RETARDANT TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS

A. H. SALIKHOVA¹, S. A. SYRBU¹, O. G. TSIRKINA¹, M. R. KISELEV²

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 Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry named after A. N. Frumkin
of the Russian Academy of Sciences,
Russian Federation, Moscow

E-mail: syrbye@yandex.ru, salina_77@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, kisselev@phyche.ac.ru

The application of flame-retardant compositions makes it possible to exclude ignition of the woven material when an ignition source hits its surface and makes it possible to weaken the density of the heat flow when passing through the material. The developed flame-retardant compositions based on domestic commercial preparations with various additives make it possible to obtain a difficult-to-ignite material. Organosilicon resin is used as additives, which gives the treated tissues resistance to negative influences, including the production environment. The fabric after processing does not change its physical, mechanical and special properties, the resulting material meets the requirements of national standards. The proposed technology is characterized by low cost and high fire safety indicators of various assortment of textile materials.

Key words: textile material, flame retardant, silicon - containing compounds, ignition, flame retardant, fire hazard indicators

В последние годы все более актуальной становится задача придания огнезащитных свойств текстильным изделиям различного назначения. Данный факт связан с высокой пожарной опасностью текстиля: без соответствующей обработки текстильные материалы являются легковоспламеняемыми, быстро распространяют пламя по поверхности, выделяют большое количество дыма и зачастую токсичные продукты горения.

Огнезащитная обработка тканей является обязательной для объектов и изделий, эксплуатация и использование которых должно проводиться при строгом соблюдении норм пожарной безопасности.

Защита тканей от возгораний должна выполняться:

- для общественных зданий со значительным числом посетителей, в холлах, в фойе, на эвакуационных выходах;
- для производственных зданий и сооружений;
- на транспорте, где существует угроза возгорания;
- для одежды специального назначения, чехлов для технологического оборудования, машин или агрегатов, экранов, применяемых при выполнении огневых работ.

Огнезащитная обработка текстильных материалов выполняется с целью:

- 1) исключения тления, возгорания от малокалорийных источников: сигарет, спичек;
- 2) ограничения распространения пламени;
- 3) снижения дымообразования и токсичности продуктов горения.

Основной задачей обработки материалов антипиренами является повышение огнестойкости до категории «трудновоспламеняемость» или «негорючесть» и, как минимум, до умеренного дымообразования Д2 и токсичности Т2¹. Необходимо отметить, что кроме построек V степени огнестойкости, класса С3, имеются ограничения в использовании текстильных материалов на эвакуационных путях. Так пожароопасность тканей для отделки не должна превышать в прихожих, холлах лифтов, на лестничных маршах Г1, В1, Д2, Т2; а в общих коридорах, холлах и фойе — Г2, В2, Д3, Т3 или Г2, В3, Д2, Т2. В случае использования текстиля для полов (в т.ч. ковровых покрытий), показатели пожароопасности материалов должны быть не выше В2, РП2, Д3, Т2 для общих коридоров и фойе и Г2, РП2, Д2, Т2 — для лестничных пространств и холлов лифтов.

В табл.1 приведены данные по текстильным материалам, которые требуют огнезащитной обработки по нормам пожарной безопасности.

В настоящее время активно ведутся разработки в области создания технологий по выпуску тканей, обладающих комплексом защитных свойств. С этой целью проводится модификация волокнообразующих полимеров на стадии их синтеза путем введения различных добавок, в том числе, антипиренов в макромолекулярную цепь; изменение структуры волокон, нитей и тканей на этапах их производства, а также разработка принципиально новых технологических решений придания устойчивых к различным внешним воздействиям огнезащитных отделок путем разработки новых пропиточных составов и покрытий, как для текстильных материалов, так и для кож [1]. Основные способы огнезащитной отделки текстильных материалов и их особенности приведены в табл. 2.

В настоящее время в России для получения огнестойких текстильных материалов широко применяют импортные препараты, в которых для обеспечения устойчивости отделки к внешним воздействиям в качестве сшивающего агента между молекулами антипирена и реакционными группами волокна чаще всего используется формальдегид. Его наличие в составе препарата значительно ухудшает гигиенические свойства тканей, а также зачастую нарушает требования по охране труда на текстильном предприятии.

Актуальность данной работы определяется тем, что снижение показателей пожарной опасности текстильных материалов с учётом их свойств и структурных особенностей позволяет обеспечить их огнестойкость в повседневной жизни и в условиях производства.

Практическую значимость работы представляет разработка состава, придающего ткани огнезащитные свойства, на основе широко применяемых антипиренов с добавлением кремнийсодержащих соединений с целью обеспечения устойчивого к воздействию воды и стиркам огнестойкого эффекта для смесовых тканей с вложением полиэфирного волокна.

В представленной работе предлагается использовать огнезащитный состав на основе кремнийорганических соединений. Для испытаний были подготовлены образцы суровой ткани «Контакт-250А», выпущенной Ивановским меланжевым комбинатом. Ткань имеет смесовый состав: 80 % хлопка и 20 % полиэфирного волокна. Поверхностная плотность ткани 150 г/м². В составе ткани имеется антистатическая нить.

¹ Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Таблица 1. Текстильные материалы, требующие огнезащитной обработки

Группа	Назначение изделия	Применение
Постельные, принадлежности, постельное белье	<ul style="list-style-type: none"> • на матрасники; • постельные изделия (подушки, одеяла, постельное белье). 	<ul style="list-style-type: none"> • поезда дальнего следования; • гостиницы.
Мебель и оформление помещений	<ul style="list-style-type: none"> • наполнители для мягкой мебели; • шторы, драпировка, мебельная обивка; • ковры; • декоративная обивка, декорации. 	<ul style="list-style-type: none"> • диваны и кресла; • общественные здания; • зрительные залы; • галереи; • учебные учреждения; • театры.
Одежда специального назначения	<ul style="list-style-type: none"> • теплозащитная • термостойкая 	Отрасли: <ul style="list-style-type: none"> • металлургическая; • химическая; • нефтехимическая; • автомобильная; Спецодежда: <ul style="list-style-type: none"> • для сварщиков; • для пожарных, • для подразделений МЧС.
Ткани технического назначения и нетканые материалы	<ul style="list-style-type: none"> • изоляционные материалы; • тентовые материалы; • чехлы; • кошмы; • защитные экраны. 	<ul style="list-style-type: none"> • транспорт; • эвакуационные выходы; • инвентарь в пожарных частях.

Таблица 2. Способы огнезащитной отделки текстильных материалов

Способ	Описание
Нанесение огнезащитных составов на ткани путем их пропитки	Придание негорючести текстильному материалу по всему его объему: <ul style="list-style-type: none"> • для материалов, редко подвергающихся стирке, проводят пропитку растворами борной кислоты, солями борной кислоты (в т.ч. бурой), растворами диаммоний-фосфатов, некоторыми неорганическими соединениями; • для изделий, подвергающихся неоднократным стиркам, проводят пропитку растворами фосфорсодержащих (фосфоазот, галогеносодержащие) соединений, которые образуют в материале труднорастворимые соединения; • для материалов, не требующих сохранения эластичности и драпируемости, проводят пропитку жидким стеклом и аналогичными ему веществами.
Нанесение лакокрасочных материалов на поверхность ткани	Осуществляется поверхностная защита текстильного материала, при которой он меняет цвет и приобретает огнезащитные свойства
Химическая модификация волокнообразующего полимера (введение в состав волокна замедлителя горения). Введение в состав текстильного полотна негорючих волокон на этапе ткачества.	На этапе синтеза волокнообразующего полимера в его состав вводят антипирены, увеличивающие огнестойкость. В полотно вплетаются огнестойкие нити или ткань полностью вырабатывается из них

Для исследования было подготовлено три огнезащитные композиции:

1) Состав №1: раствор Пироватекс – 30 мл, вода – 100 мл.

2) Состав №2: раствор Пироватекс – 30 мл, кремнийорганическая смола марки RUT 3010 (далее – КОС) – 5 мл, раствор уксусной кислоты CH_3COOH 10%-ой – 0,5 мл, ПВА – 1 мл, вода – 100 мл.

3) Состав №3: раствор Пироватекс – 30 мл, порошок диоксида кремния марки «Ковелос» - 1 г, раствор уксусной кислоты CH_3COOH 10%-ой – 0,5 мл, вода – 100 мл.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений является применение кремнийорганической смолы в качестве активного агента в антипирлирующих составах. За счет своих уникальных свойств смола дает

возможность придания комплексной защиты тканям, в том числе, и для спецодежды.

Как было ранее отмечено, обработка огнезащитным составом не должна ухудшать свойств ткани. В среднем привес обработанной ткани составил 29 %. Следует отметить, что ткань, обработанная составом с добавлением кремнийорганической смолы, приобрела еще и защиту от загрязнений, что является немаловажным при эксплуатации.

Определение огнезащитных свойств проводилось по методике ГОСТ 11209-2014 «Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний». Огнезащитной считают ткань, которая после удаления из пламени не горит и не тлеет.

Далее на фотографиях приведены результаты испытания тканей (рис. 1).



Рис. 1. Испытание образцов ткани на огнезащитные свойства

Испытания образцов показали наличие горения и тления материала только в течение 5 секунд, обугливание образца не превышало 1/3 длины, горения и тления не наблюдалось. Поэтому ткани, обработанные всеми тремя составами, можно считать огнестойкими².

При проведении испытаний при ограниченном распространении пламени согласно методике стандарта³ определяется следующее: горение пробы; распространяющееся к краям; послесвечение; наличие расплавленных, светящихся остатков и образование дыр. Одновременно с этим регистрируют время остаточного горения пробы и время послесвечения испытываемой пробы (время, в течение

которого проба продолжает светиться после прекращения горения или после удаления источника пламени). Полученные результаты сведены в табл. 3.

Как видно из результатов испытаний, все образцы ткани, обработанные предложенными составами, не распространяют пламя по поверхности полотна и горение не поддерживают.

Для более детального изучения огнезащитных свойств текстильных материалов проведен термогравиметрический анализ (ТГА). Ранее в работах [2–4] приводились данные, доказывающие применимость и наглядность указанного метода для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов.

Как уже отмечалось, все три состава на основе Пироватекса придают ткани огнезащитные свойства. Однако материалы, пропитанные растворами антипирена с добавлением кремнийсодержащих соединений, показали более высокий результат по огнезащите, в частности, по значению времени самостоятельного горения. Поэтому на этапе термогра-

² ГОСТ 11209-2014 Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний.

³ ГОСТ Р 12.4.200-99 Одежда специальная для защиты от тепла и огня. Метод испытаний при ограниченном распространении пламени.

виметрического анализа целесообразно провести сравнение пожароопасных характеристик исходной необработанной ткани и ткани,

пропитанной составами № 2 (с добавлением кремнийорганической смолы) и № 3 (с добавлением диоксида кремния).

Таблица 3. Результаты испытаний образцов с огнезащитной отделкой, проведенный по ГОСТ Р 12.4.200-99

Регистрируемые параметры	Испытания (средние показатели)		
	Состав №1: раствор Пироватекс – 30 мл	Состав №2: раствор Пироватекс + кремнийорганиче ская смола + уксусная кислота + ПВА	Состав №3: раствор Пироватекс + диоксид кремния + уксусная кислота
Время самостоятельного горения, с	1	0	0
Достижение нижней границы пламени верхнего или вертикального (бокового) края при испытаниях пробы	не достигла	не достигла	не достигла
Образование дыр при испытаниях	нет	нет	нет
Горение пробы или появление расплавленных остатков	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Распространение послесвечения за пределы площади распространения пламени (обычно обугленная площадь) на неповрежденную площадь	не распространялось	не распространялось	не распространялось
Время послесвечения с точностью до целых чисел	0	0	0

Термогравиметрические кривые получены на дифференциальном сканирующем калориметре Q 500 фирмы INТЕС. Термогравиметрический анализ (ТГА) проводился в среде воздуха; скорость нагрева образцов составляла 3°С/мин; масса исследуемых образцов — 6–9 мг. Диапазон изменения температур составлял от 0°С до 700°С. Для обработки данных термогравиметрического исследования использовалось программное обеспечение с элементами статистической обработки данных и расчета характеристик ТГА.

В ходе проведения термического анализа фиксировались следующие показатели:

- потеря массы образца (в %) при значениях температур, соответствующих изменению характера хода кривой потери массы;
- температуры (°С) потери 5, 10, 20, 50 % массы;
- зольный остаток (в %) при температуре окончания процесса деструкции;

- температуры начала и окончания разложения образца (°С).

На основе полученных экспериментальных данных построена зависимость убыли массы исследуемых образцов от температуры и изменения характера теплового потока (рис. 2–4).

Сравнение приведенных на рис. 2, 3 и 4 данных свидетельствуют о значительном увеличении температуры окончания процесса термоокисления у образца, обработанного составом № 2 (с кремний органической смолой) (рис. 3) до 699,64°С (при потере массы 78,82 % от исходной). При этом для необработанного образца (рис. 2) термоокисление заканчивается при 449,57°С (при полной потере массы), а для образца, обработанного составом № 3 (с диоксидом кремния) (рис. 4) температура окончания термоокисления составляет 599,21°С (при потере массы 90,01 %).

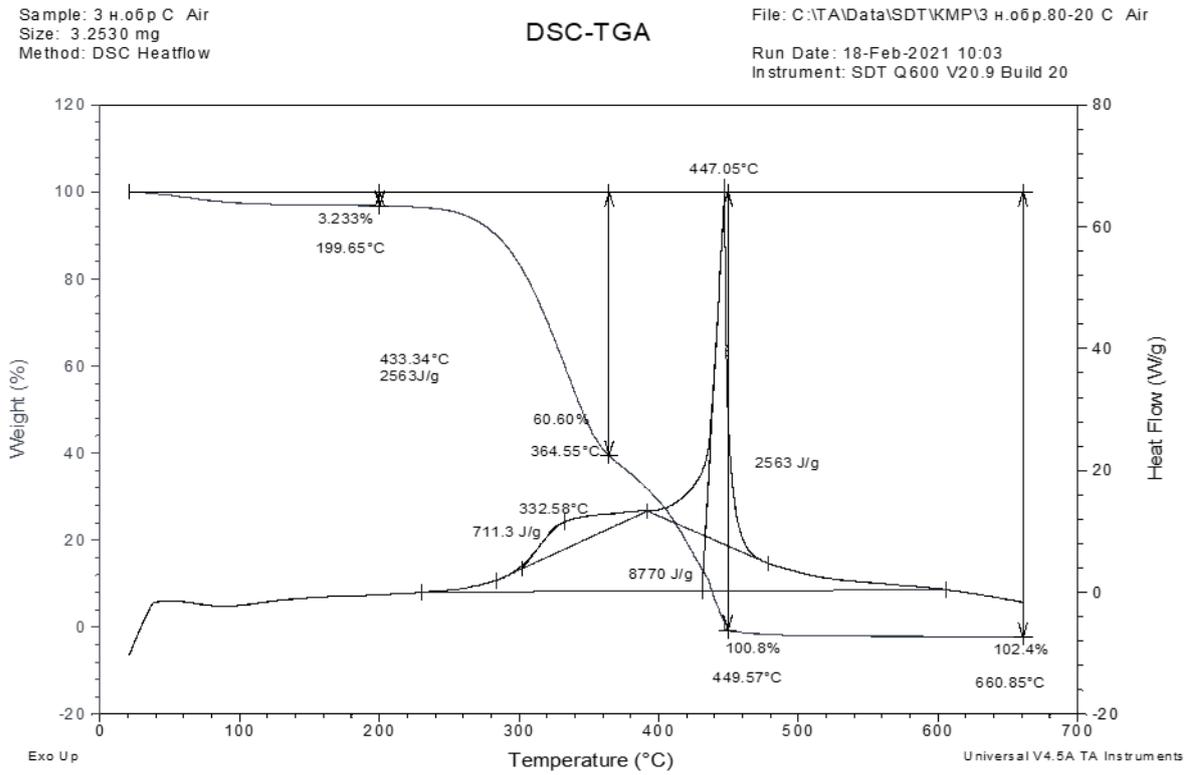


Рис. 2. Термогравиметрические кривые для образца без огнезащитной обработки

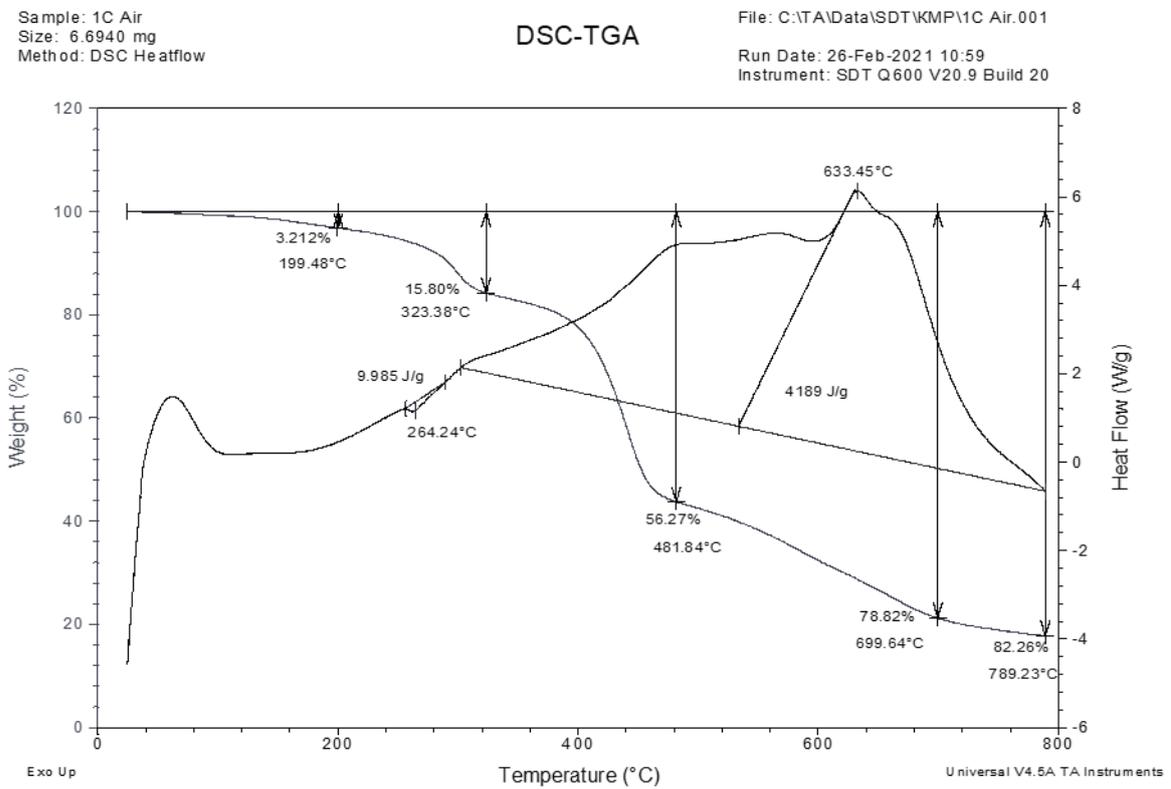


Рис. 3. Термогравиметрические кривые для образца с огнезащитной обработкой составом № 2

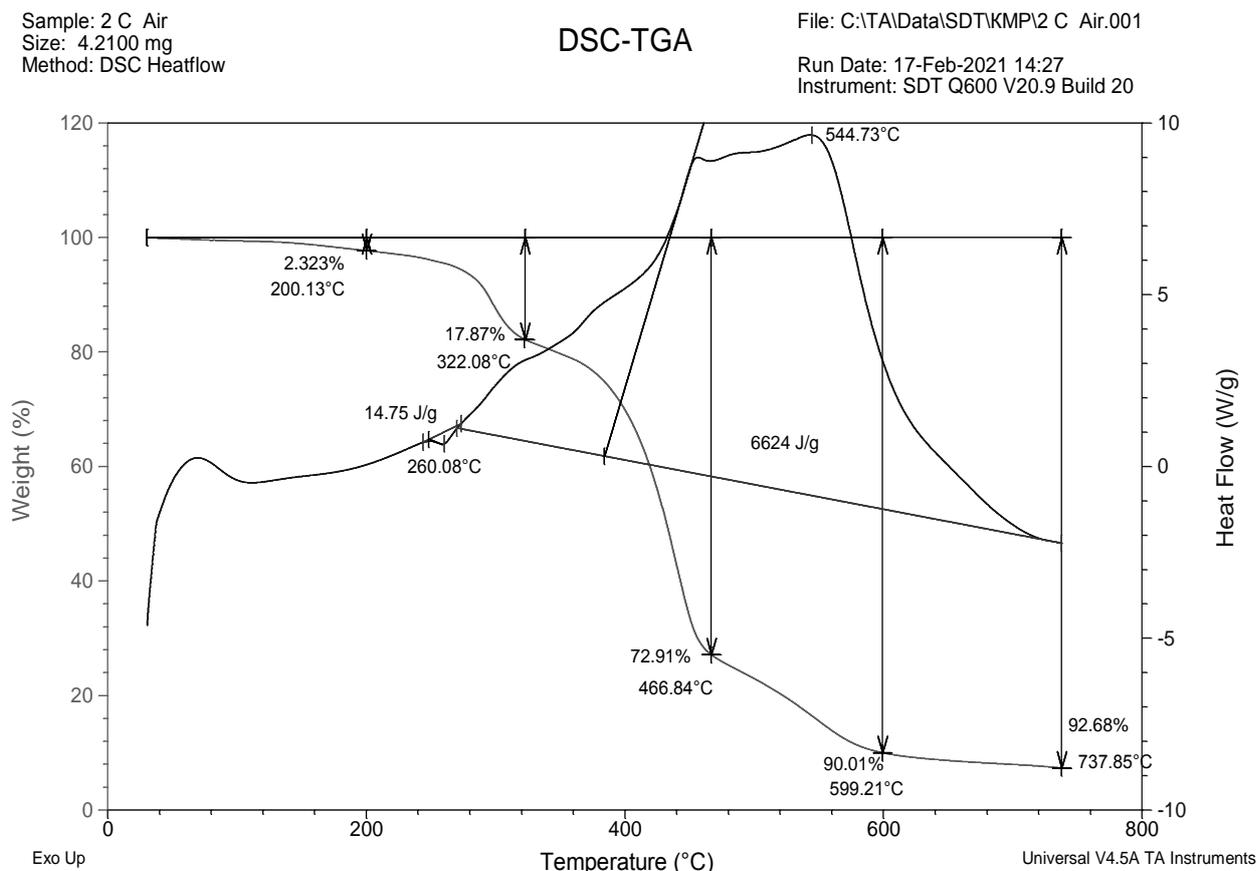


Рис. 4. Термогравиметрические кривые для образца с огнезащитной обработкой составом № 3

По термогравиметрической кривой можно определить температурные диапазоны протекающих в материале процессов. Термоокислительная деструкция целлюлозосодержащей ткани протекает в атмосфере воздуха, при этом можно выделить три температурных диапазонах:

1-й диапазон соответствует температурному интервалу 30–200°C. В данном температурном диапазоне образцы теряют сорбционную влагу, которая в зависимости от поверхностной плотности полотна, его толщины и вида ткацкого переплетения может составлять 4–7 % масс. Ход термогравиметрических кривых свидетельствует о том, что до температуры 200°C образцы не претерпевают каких-либо явных изменений. Имеются незначительные отличия в величине потери массы материала в указанном диапазоне температур: для необработанной ткани потеря массы составляет 3,233 %; образец, пропитанный составом № 2 (с кремнийорганической смолой), теряет 3,212 % массы; образец с составом № 3 (с диоксидом кремния) – 2,323 %. Последнюю величину можно объяснить тем, что состав № 3 со-

держит диоксид кремния диспергированный, но нерастворимый в воде, который, проникая в поры волокна, закупоривает влагу в его микроструктурах.

2-й температурный диапазон лежит в пределах 200–450°C. После удаления влаги для целлюлозосодержащего материала, не обработанного растворами антипирена, характерно резкое увеличение потери массы, связанное с началом ее термоокислительной деструкции в диапазоне температур от 300–450°C. На данном этапе наблюдается потеря порядка 60–70 % массы для обработанных антипиренами образцов. Необработанная ткань полностью разрушается при температуре 449,57°C, в то время как образец, обработанный составом № 2 при указанной температуре теряет только порядка 56 % своей массы.

В 3-ем температурном диапазоне 450–600°C для всех трех образцов термоокисление сопровождается образованием зольного остатка, величина которого зависит от наличия или отсутствия в ткани антипиренирующего состава: масса зольного остатка для необработанного образца составляет 100 % от исходной массы

образца при температуре порядка 450°C; для образца с составом № 2 – 79 % при 700°C и для № 3–90% при 600°C. То есть, для образцов с огнезащитной обработкой окончание процесса термоокисления смещается в область более высоких температур. Данные анализа также показывают, что обработка ткани огнезащитными составами приводит к уменьшению количества образующегося зольного остатка в случаях обработки ткани составами с содержанием кремнийорганических элементов при температуре, соответствующей 700°C.

Таким образом, исходя из полученных в результате термогравиметрического анализа данных, можно сделать вывод об эффективности состава № 2 «Пироватекс + кремнийорганическая смола» с точки зрения его защитных

свойств от воздействия на ткань высоких температур.

Следует отметить, что обработка ткани предлагаемыми составами не приводит к ухудшению физико-механических и теплофизических свойств материала. При обработке составом с содержанием кремнийорганической смолы материалу дополнительно придавались свойства влаго-, грязе- и маслоотталкивания.

Таким образом, полученные в ходе работы результаты свидетельствуют о том, что введение в состав раствора антипирена кремнийсодержащих добавок в виде полиорганосилоксановых смол приводит к повышению термостойкости обработанной ткани с одновременным улучшением и других потребительских характеристик материала.

Список литературы

1. Сырбу С. А., Федоринов А. С., Салихова А. Х. Сшивающие агенты для огнезащитных композиций на основе азотно-фосфорных антипиренов // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С.115–124.

2. Использование методов термического анализа для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов из целлюлозных волокон / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. В. Петров [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5 (389). С. 92–97.

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

4. Сравнительный анализ методик и средств оценки пожарной опасности полимерных материалов / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. Л. Никифоров [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 3 (40). С. 54 – 60.

References

1. Syrbu S. A., Fedorinov A. S., Salikhova A. H. Sshivayushchiye agenty dlya

ognezashchitnykh kompozitsiy na osnove azotno-fosfornykh antipirenov [Crosslinking agents for flame retardant compositions based on nitrogen-phosphorus flame retardants]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 3 (36), pp. 115–124.

2. Ispol'zovaniye metodov termicheskogo analiza dlya otsenki pozharoопасnykh svoystv tekstil'nykh materialov iz tsellyuloznykh volokon [The use of thermal analysis methods to assess the fire-hazardous properties of textile materials from cellulose fibers] / V. G. Spiridonova, O. G. Tsikina, A. V. Petrov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Technology of the textile industry*, 2020, vol. 5 (389), pp. 92–97.

3. Spiridonova V. G., Tsirkina O. G. Analiz metodov otsenki ognezashchitnykh svoystv tekstil'nykh materialov [Analysis of methods for assessing the flame-retardant properties of textile materials]. *Izvestiya vuzov. Technology of the textile industry*, 2021, vol. 4 (394), pp. 75–81.

4. Sravnitel'nyy analiz metodik i sredstv otsenki pozharnoy opasnosti polimernykh materialov [Comparative analysis of methods and means of fire hazard assessment of polymer materials] / V. G. Spiridonova, O. G. Tsikina, A. L. Nikiforov [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2021, vol. 3 (40), pp. 54–60.

Салихова Аниса Хамидовна

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

Salikhova Anisa Khamidovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: salina_77@mail.ru

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, профессор
E-mail: syrbue@yandex.ru
Syrbu Svetlana Alexandrovna
Federal State Budget
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, Ivanovodoctor of chemistry sciences, professor
E-mail: syrbue@yandex.ru

Циркина Ольга Германовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор, доцент
E-mail: ogtsirkina@mail.ru
Tsirkina Ol'ga Germanovna
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of technical sciences, professor, associate professor
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Киселев Михаил Романович

Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, старший научный сотрудник
E-mail: kisselev@phyche.ac.ru
Kiselev Mikhail Romanovich
Federal State Budgetary Institution of Science
«Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry. A. N. Frumkin
of the Russian Academy of Sciences»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, senior researcher
E-mail: kisselev@phyche.ac.ru

УДК 614.846

О ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПРАВКИ ПЕНОБАКА ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАЦИОНАРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

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

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

В работе проведена оценка возможности реализации технического решения по заправке емкости под пенообразователь с использованием стационарного вакуумного насоса автоцистерны или пожарного автомобиля. Технические параметры пенобаков, установленных на пожарных автоцистернах, не позволяют реализовать возможность заполнения с применением вакуумного насоса вследствие невозможности обеспечения конструкцией требуемого напряжения при создании разряжения в 1 кгс/см^2 . Показано, что усиление конструкции емкостей под пенообразователь вертикальными укрепляющими стойками из стали марки Ст3 и легированной стали, а также ребрами жесткости из полиэтилена, позволит сохранить геометрические параметры толщины стенки пенобака при производстве.

Ключевые слова: пенобак; пожарная автоцистерна; емкость под пенообразователь; конструкция.

ABOUT THE POSSIBILITY OF REFUELING THE FOAM TANK OF A FIRE TRUCK USING A STATIONARY VACUUM PUMP

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

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

The paper assesses the possibility of implementing a technical solution for filling a container for a foaming agent using a stationary vacuum pump of a tank truck or a fire truck. The technical parameters of the foam tanks installed on fire trucks do not allow for the possibility of filling using a vacuum pump due to the impossibility of providing the required voltage by the design when creating a vacuum of 1 kgf/cm^2 . It is shown that the strengthening of the structure of containers for the foaming agent with vertical reinforcing posts made of St3 steel and alloy steel, as well as stiffening ribs made of polyethylene, will allow maintaining the geometric parameters of the foam tank wall thickness during production.

Key words: foam tank; fire tanker truck; container for foaming agent; construction.

Анализ статистических данных по пожарам¹ показал, что интенсивность их возникновения возрастает, а материальный ущерб остается на высоком уровне и составляет порядка 20,876 млрд. рублей. Общеизвестно, что применение современной пожарной техники для тушения пожара позволяет повысить

эффективность его тушения. Основной пожарной техникой, применяемой при тушении пожара, являются пожарные автоцистерны от эффективной эксплуатации которых зависит успешность и временные показатели тушения пожара.

Вероятность успешного тушения пожара пожарно-спасательными подразделениями можно охарактеризовать зависимостью 1.

$$P_{\text{ут}} \tau \rightarrow \tau_{\text{min}} = P_{\text{лс}} \cdot P_{\text{пр}} \cdot P_{\text{н}} \rightarrow 1, \quad (1)$$

где $P_{\text{лс}}$ — вероятность того, что личный состав достаточно хорошо подготовлен; $P_{\text{пр}}$ — вероятность прибытия и боевого развертывания в минимальное время; $P_{\text{н}}$ — вероятность

© Семенов А. Д., Сараев И. В., Бубнов А. Г., 2022

¹ Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 264 с.

того, что механизмы и оборудование ПА будут надежно работать.

Таким образом, рассматриваемые показатели эффективности тушения пожара носят вероятностный характер, а временные параметры восстановления боевой готовности техники в подразделении являются определяющими при реагировании.

Восстановление боевой готовности подразделения складывается из мероприятий² по:

- заправке пожарных автомобилей (ПА) горюче-смазочными материалами и огнетушащими веществами;

- замене неисправного имущества, оборудования и снаряжения, средств связи, обмундирования (боевой одежды, формы одежды);

- техническому обслуживанию ПА;

- мойке ПА.

В работе [1] показано, что наиболее затратной, по времени, является заправка ПА пенообразователем. Обусловлено это высокой пенообразующей способностью пенообразователя при перемешивании, что требует поиска технических решений, позволяющих уменьшить временные интервалы отдельных мероприятий по восстановлению технической готовности пожарной техники в подразделении.

Анализ технических возможностей по заправке пенобака ПА показал, что на практике реализовано два способа. Первый подразумевает заполнение емкости через горловину, что требует значительных временных затрат в виду вспенивания пенообразователя. Второй

подразумевает использование промежуточного насоса для заполнения пенобака. Второй способ является более универсальным, но требует дополнительных затрат на приобретение промежуточного насоса для перекачки пенообразователя. В [1] рассмотрена возможность использования стационарного вакуумного насоса пожарного автомобиля для заполнения емкости пенобака через стационарные водопенные коммуникации. Реализация такой возможности, заполнения емкости пенообразователем, позволяет унифицировать процесс заправки пенобака как в подразделении, так и в полевых условиях. Однако при реализации возможности применения стационарного вакуумного агрегата для заправки пенообразователя требуется обеспечить устойчивость емкости пенобака к деформации при создании в его полости разряжения.

Цель работы – оценка прочностных характеристик конструкционного материала емкости под пенообразователь при заправке с использованием стационарного вакуумного насоса.

Рассмотрим распределение пожарных автомобилей (рис. 1) в зависимости от преимущественного использования и направлений оперативной деятельности. Наибольший интерес представляют пожарные автомобили основного применения в связи с тем, что они используются для тушения пожара в городах и населенных пунктах, а также оборудованы сосудами для огнетушащих веществ – цистерной для воды, и емкостью под пенообразователь.

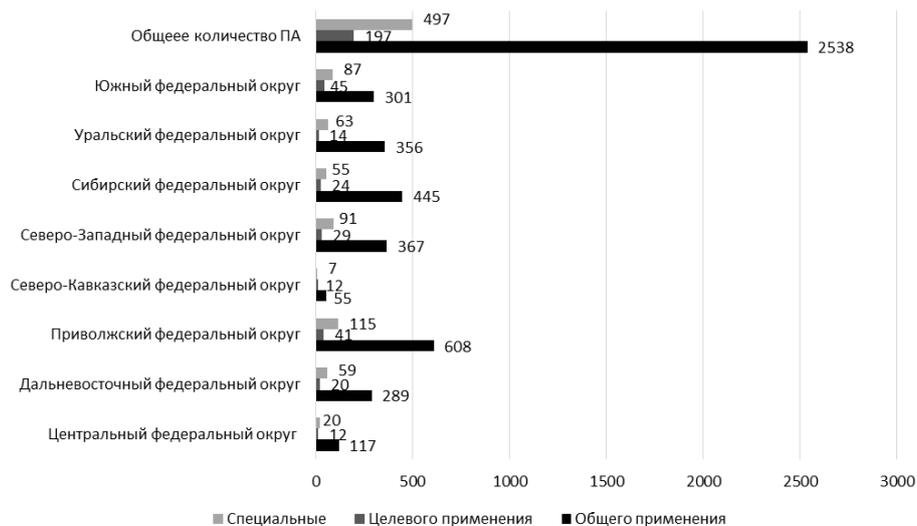


Рис. 1. Распределение пожарных автомобилей по федеральным округам от преимущественного использования и направлений оперативной деятельности.

² Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

Статистические данные (рис. 1) показывают, что на долю основных пожарных автомобилей приходится до 78 % от всего парка пожарной техники. Анализ оснащения пожарно-спасательных гарнизонов пожарными автомобилями показал, что основные шасси, применяемые при производстве IVECO-AMT, Урал NEXT, КамАЗ, ЗиЛ-130 и ЗиЛ-131.

Расчет прочностных характеристик емкостей проводится на прочность и устойчивость с целью оценки их работоспособности при создании рабочих условий. Оценка прочности и устойчивости сосудов проводят на основе данных о типе материала из которого сделан резервуар и рабочих условий. Таки образом, необходимо определить тип материала из которого производятся пенобаки пожарных автомобилей.

Рассмотрим распределение пожарных автомобилей по поколению выпуска их с конвейера. На рис. 2 представлено распределение ПА в зависимости от поколения выпуска, причем в новые модификации ПА включены автомобили, выпущенные после 2000 года, а к старым модификациям отнесены ПА, произведенные до 2000 года.

Анализ данных по оснащению пожарно-спасательных гарнизонов пожарной техникой показал, что качественный состав парка пожарных автомобилей физически и морально устарел. Так, более 33 % оснащенности подразделений приходится на долю АЦ-40(130)63Б и АЦ-40(131)137А на базе ЗиЛ-130 и ЗиЛ-131, производства Прилукского завода «Пожмашина». Пенобаки на таких автомобилях изготавливаются из стали Ст3, подвержены коррозии и требуют частого ремонта. В литературе [2, 3] показано, что при создании пожарных автомобилей современной генерации преобладают такие конструктивные материалы, как сплавы алюминия, нержавеющая сталь, полимерные материалы. В настоящее время емкости под пенообразователь на пожарных автомобилях, применяемых подразделениями пожарной охраны изготовлены из стали марки Ст3, нержавеющей (легированной) стали, полиэтилена. Таким образом, расчет пенобака на прочность и устойчивость необходимо проводить в зависимости от типа конструктивного материала, применяемого в изготовлении (сталь, нержавеющая сталь, полиэтилен).

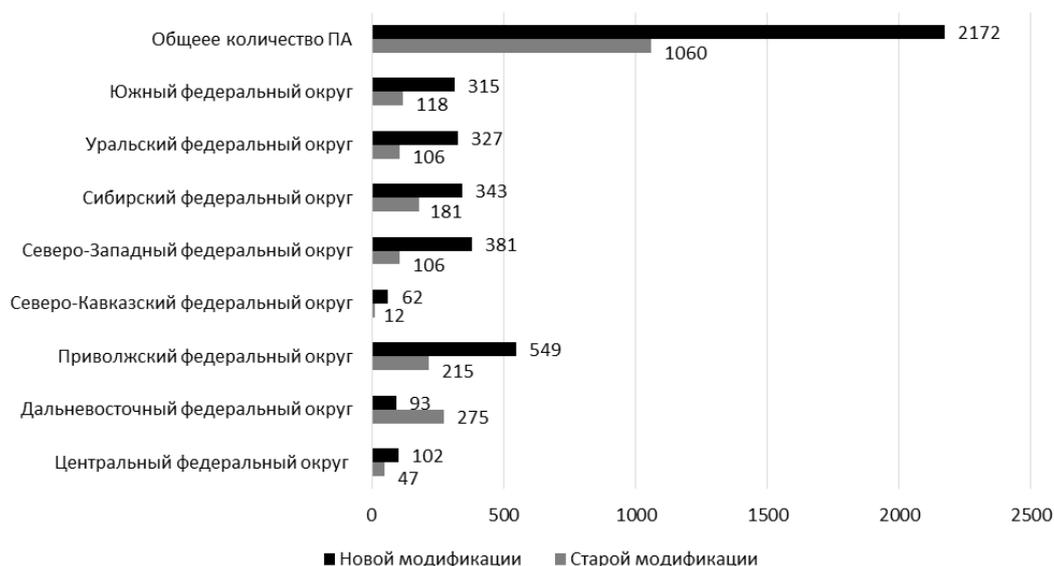


Рис. 2. Распределение пожарных автомобилей по федеральным округам в зависимости от поколения

Рассмотрим особенности заправки пенобака ПА с применением стационарного вакуумного агрегата (шиберного насоса).

Авторами [1] предлагается возможность использования стационарного вакуумного агрегата для заполнения пенобака пожарной автоцистерны по схемам рис. 3 рис. 4.

Конструкция водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны имеет замкнутый, герметичный контур. Исходя из схемы (рис. 3) видно, что подачу пенообразователя в пеномеситель можно осуществить из сторонней емкости через патрубок 3. Для этого требуется подсоединить к 3 кислотно-щелочной (КЩ)

шланг диаметром 32 мм от внешней емкости с пенообразователем. Исходя из этого, было предложено техническое решение по заполнению пенобака пожарной автоцистерны с использованием стационарного вакуумного насоса 22 (рис. 4). Для реализации данного способа требуется создание дополнительного трубопровода коммуникаций с шаровым краном 21. Разряжение в пенобаке создается вакуумным насосом 22 (рис. 4), который соединяется с пенобаком трубопроводом через шаровой кран

21. Пенообразователь через патрубок 3 от внешней емкости с пенообразователем по кислотно-щелочному шлангу поступает по трубопроводу с краном 6 в пенобак. Во избежание попадания пенообразователя в рабочую полость шибера насоса в пенобаке требуется установка датчика, соединенного с блоком управления вакуумного агрегата, для автоматического отключения двигателя вакуумного насоса при заполнении емкости бака пенообразователя.

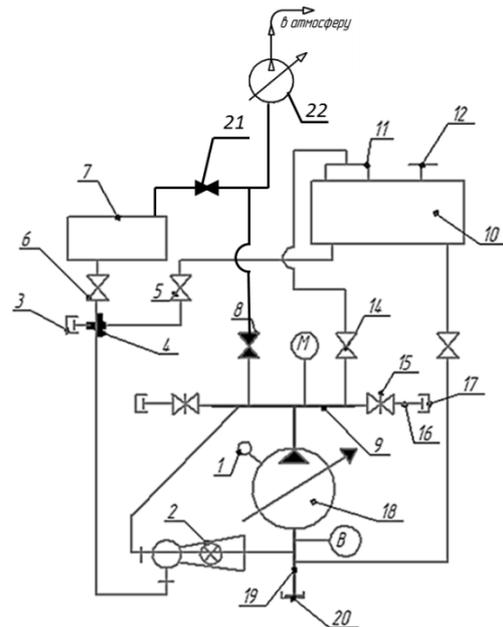
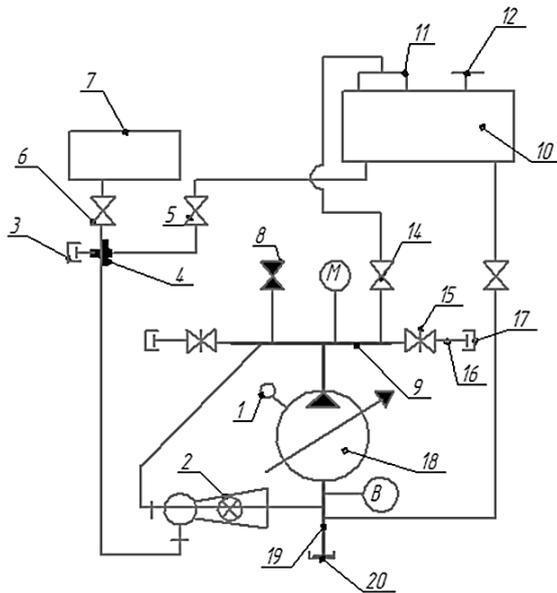


Рис. 3. Схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны:

- 1 – масленка; 2 – пеносмеситель; 3 – патрубок забора пенообразователя из сторонней емкости;
- 4 – крестовина; 5 – вентиль; 6, 21 – кран; 13 – клапан; 7 – пенобак; 8 – вакуумный кран;
- 9 – коллектор; 10 – цистерна; 11 – смотровой люк; 12 – заливная горловина; 14, 15 – задвижки;
- 16 – напорная труба; 17, 20 – заглушка; 18 – пожарный насос; 19 – всасывающий патрубок;
- 22 – шибера насос (вакуумный агрегат)

Рис. 4. Схема водопенных коммуникаций забора пенообразователя с использованием АВС:

Классическая схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны представлена на рис. 3.

Рассмотрим конструктивные особенности пенобака пожарной автоцистерны и материалы из которых он изготавливается. На АЦ нового поколения баки в поперечном сечении имеют форму квадрата с закругленными углами (рис. 5). На верхней части бака 4 установлена заливная горловина 5 с присоединенной к ней рукавной головкой 6. Внизу закреплен вентиль 7 для поступления пенообразователя к насосу. Бак крепится хомутами 3 гайкой 2 к подрамнику. Пенобаки размещают, как правило, в насосном отсеке.

Таким образом, пенобак пожарной автоцистерны является сосудом, который при его заправке, с применением вакуумного насоса, будет находиться под внешним давлением 1 кгс/см^2 . Длительная и бесперебойная работа оборудования, работающего под давлением, является одним из важных условий, которое зависит от механической надежности. Механическая надежность определяется такими техническими показателями как прочность, жесткость, герметичность, устойчивость и долговечность, которые необходимо учитывать при расчете емкостей, работающих под вакуумом. Расчетные значения по толщине стенок емкости для хранения пенообразователя на ПА позволяют разрабо-

тать рекомендации заводам-изготовителям по реализации предлагаемого подхода по заправке пенобака пенообразователем.

Расчет толщины стенок пенобака проводился по методике [5], путем сравнения максимального напряжения в прямоугольной пластине с допуском напряжением для рассматриваемого материала (Ст3, легированная сталь, полиэтилен) из которого изготовлена емкость под пенообразователь.

$$\sigma = c \cdot p \cdot \left(\frac{a}{s}\right)^2 = c \cdot \frac{\gamma H}{2} \cdot \left(\frac{a}{s}\right)^2 < \sigma_{\text{доп}}, \quad (2)$$

$$c = \frac{0,75}{1 + 1,61 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2}, \quad (3)$$

где: p – среднее давление, действующее на пластину, кгс/см²; a – короткая сторона стенки между укрепляющими элементами, см; b – длинная сторона стенки между укрепляющими элементами, см; s – толщина стенки, см; γ – удельный вес жидкости, кг/см³; c – коэффициент, зависящий от отношения b/a .

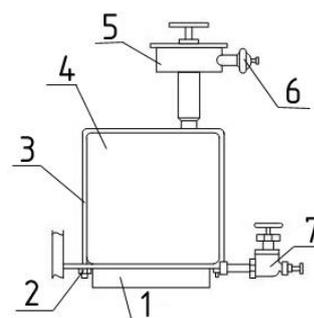


Рис. 5. Общее устройство пенобака пожарного автомобиля:

- 1 – подрамники; 2 – гайка; 3 – хомут; 4 – бак;
- 5 – заливная горловина;
- 6 – рукавная головка; 7 – вентиль

В работе проводился расчет емкости под пенообразователь с геометрическими размерами 0,5x0,8x0,5 м объемом 200 л., для АЦ - АЦ-3,2-40/4(43253), модель 001-МС³. Результаты расчета толщины стенки емкости под пенообразователь на АЦ в зависимости от типа конструктивного материала представлены в таблице.

Таблица. Результаты расчета толщины стенки емкости под пенообразователь на АЦ в зависимости от типа конструктивного материала

Толщина стенки пенобака, мм	Сталь Ст3, мм	Легированная (нержавеющая) сталь, мм	Полиэтилен, мм
Установленные на АЦ	4	4	7
Расчетные значения без укрепления стенок	8	8	20
Расчетные значения с укреплением стенок	4	4	7

Анализ результатов расчета толщины стенки емкости под пенообразователь на АЦ, в зависимости от типа конструктивного материала, показал, что пенобаки установленные на ПА имеют толщину стенок от 4 до 7 мм. Прочностные характеристики такой конструкции не обеспечивают условия выражения (2) по допустимому напряжению $\sigma_{\text{доп}}=1600$ кгс/см² для стали марки Ст3 и легированной стали и $\sigma_{\text{доп}}=280$ кгс/см² для полиэтилена марок 276-73, 276-83, 276-84.

Таким образом, при создании разряжения в 1 кгс/см² в прямоугольной емкости 0,5x0,8x0,5 м напряжение на стенки для стали марки Ст3 и легированной стали толщиной 4 мм составляет $\sigma = 5857$ кгс/см², для полиэтилена марок 276-73, 276-83, 276-84 $\sigma=1913$ кгс/см², что требует усиливать конструкцию вертикальными укрепляющими стойками. Выполнение условий соответствия по выражению

(2) достигается при увеличении толщины стенок емкости в 2-2,5 раза, что повышает себестоимость пенобаков при изготовлении.

Таким образом, для усиления конструкции пенобака, по полученным значениям создаваемого напряжения в конструкционном материале, при создании разряжения в 1 кгс/см² требуется две вертикальные укрепляющие стойки для емкостей из стали марки Ст3 и легированной стали, а для емкостей из полиэтилена марок 276-73, 276-83, 276-84 требуется три вертикальные укрепляющие стойки. Целесообразно использовать усиление из того же материала, что и емкость под пенообразователь, причем для емкостей из полиэтилена

³ Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС. Руководство по эксплуатации. М: ЗАО «ПО «Спецтехника пожаротушения», 2011. 162 с.

можно увеличить количество ребер жесткости при формовке. Такое конструктивное решение позволяет сохранить себестоимость производства емкостей под пенообразователь и расширяет функционал при осуществлении заправки пенообразователем. Использование вертикальных укрепляющих стоек и ребер жесткости позволит сохранить геометрические параметры толщины стенки пенобака при производстве.

Выводы

В работе показано, что эффективность тушения пожара носит вероятностный характер, а временные параметры восстановления боевой готовности техники в подразделении являются определяющими при реагировании на тушение пожара.

Определено, что наиболее затратной, по времени, является заправка ПА пенообразователем.

Установлено, что на долю основных ПА приходится до 78 % от всего парка пожарной техники, а более 33 % оснащенности подраз-

делений приходится на долю техники, произведенной до 2000 года. Емкости под пенообразователь на ПА, применяемых подразделениями пожарной охраны, изготовлены из стали марки Ст3, нержавеющей (легированной) стали и полиэтилена.

Проведена оценка возможности реализации технического решения по заправке емкости под пенообразователь с использованием стационарного вакуумного насоса. Технические параметры пенобаков, установленных на АЦ, не позволяют реализовать возможность заполнения с применением вакуумного насоса в следствии невозможности обеспечения конструкцией требуемого напряжения при создании разряжения в 1 кгс/см². Усиление конструкции емкостей под пенообразователь вертикальными укрепляющими стойками из стали марки Ст3 и легированной стали, а также ребрами жесткости из полиэтилена, позволит сохранить геометрические параметры толщины стенки пенобака при производстве.

Список литературы

1. Семенов А. Д., Бочкарев А. Н., Кнутов М. С. Влияние способа заправки пенобака на время приведения пожарного автомобиля в готовность после пожара // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 4 (37). С. 143–150.
2. Яковенко Ю. Ф. Пожарные автомобили нового поколения. Современная ситуация и перспективы // *Системы и безопасность*. 2015. С. 82–86. <http://secuteck.ru>.
3. Яковенко Ю. Ф. Современные пожарные автомобили: модельные ряды, эффективные решения и технологии // *Системы и безопасность*. 2016. С. 124–128. <http://secuteck.ru>.
4. Домашнев А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. М.: Машгиз, 1961. 621 с.

References

1. Semenov A. D., Bochkarev A. N., Knutov M. S. Vliyanie sposoba zapravki penobaka na vremya privedeniya pozharnogo avtomobilya v gotovnost' posle pozhara [The influence of the method of filling the gas tank on the time of bringing the fire truck into readiness after a fire]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 4 (37), pp. 143–150.
2. Yakovenko Yu. F. Pozharnye avtomobili novogo pokoleniya. Sovremennaya situatsiya i perspektivy [New generation fire trucks. Current situation and prospects]. *Sistemy i bezopasnost'*. 2015. pp. 82–86. <http://secuteck.ru>.
3. Yakovenko Yu. F. Sovremennye pozharnye avtomobili: model'nye ryady, effektivnye resheniya i tekhnologii [Modern fire trucks: model ranges, effective solutions and technologies]. *Sistemy i bezopasnost'*, 2016, pp. 124–128. <http://secuteck.ru>.
4. Domashnev A. D. *Konstruirovaniye i raschet himicheskikh apparatov* [Design and calculation of chemical devices]. M.: Mashgiz, 1961. 621 p.

Семенов Андрей Дмитриевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры
E-mail: sad8_3@mail.ru,

Semenov Andrey Dmitrievich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, deputy chief of chair

E-mail: sad8_3@mail.ru.

Сараев Иван Витальевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, преподаватель кафедры

E-mail: sad8_3@mail.ru,

Saraev Ivan Vitalievich

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, teacher of the department

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

Бубнов Андрей Германович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доктор химических наук, профессор

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

Professor

E-mail: bubag@mail.ru.

УДК 614.89

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО

Д. В. СОРОКИН¹, А. Л. НИКИФОРОВ¹, Н. Е. ЕГОРОВА², С. Н. УЛЬЕВА¹

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

² Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: element_37@mail.ru, anikiforoff@list.ru, ne_egorova@mail.ru, jivotjagina@mail.ru

В работе рассмотрен вопрос проектирования композиционного текстильного материала на основе использования 3D текстильной матрицы для боевой одежды пожарного с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Для создания альтернативы экспериментальному подбору структуры и состава композиционного полимерного текстильного материала предложена математическая модель нестационарного теплообмена в системе «окружающая среда – композиционный материал - человек». Задача распределения температуры в любой момент времени для внешнего и внутреннего слоев представлена в виде теплопереноса в многослойной пластине. Задача распределения температуры в теплоизолирующем слое материала представлена в виде теплопереноса через ограниченный стержень в воздушной среде. Алгоритм математического расчета процесса теплопередачи в слоях композиционного текстильного материала реализован в виде программы для ПЭВМ.

Разработанная на основе математической модели программа позволяет получить данные о распределении температуры по слоям композиционного полимерного материала для боевой одежды пожарного в процессе практически любого теплового воздействия и провести всесторонний анализ процесса теплопередачи.

Ключевые слова: композиционный текстильный материал, моделирование, теплообмен, математическая модель, боевая одежда пожарного, специальная защитная одежда, теплофизические показатели.

MODELING OF HEAT-PROTECTIVE PROPERTIES OF COMPOSITE POLYMER MATERIAL FOR FIREFIGHTER'S COMBAT CLOTHING

D. V. SOROKIN¹, A. L. NIKIFOROV¹, N. E. EGOROVA², S. N. ULIEVA¹

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

² Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin
Russian Federation, Ivanovo,

E-mail:element_37@mail.ru, anikiforoff@list.ru, ne_egorova@mail.ru, jivotjagina@mail.ru

The paper considers the issue of designing a composite textile material based on the use of a 3D textile matrix for firefighter combat clothing with improved performance characteristics. To create an alternative to the experimental selection of the structure and composition of composite polymer textile material, a mathematical model of non-stationary heat transfer in the "environment - composite material - human" system is proposed. The problem of temperature distribution at any time for the outer and inner layers is presented in the form of heat transfer in a multilayer plate. The problem of temperature distribution in the heat-insulating layer of the material is presented in the form of heat transfer through a limited rod in the air. The algorithm of mathematical calculation of the heat transfer process in layers of composite textile material is implemented in the form of a program for a PC.

The program developed on the basis of a mathematical model allows you to obtain data on the temperature distribution across the layers of composite polymer material for firefighter combat clothing during almost any heat exposure and conduct a comprehensive analysis of the heat transfer process.

Key words: composite textile material, modeling, heat transfer, mathematical model, firefighter's combat clothing, special protective clothing, thermophysical indicators.

Оценка эффективности защитных свойств большинства комплектов эксплуатируемой в настоящее время боевой одежды пожарного (далее БОП) во многом не соответствует современным требованиям, о чем свидетельствуют статистические данные по гибели и травматизму пожарных.

В связи с имеющейся проблемой нами был проведен ее всесторонний анализ, показавший, что одной из основных причин являет-

ся несовершенство используемых для производства БОП материалов.

Авторским коллективом [1] Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в рамках проведения научно-исследовательской работы был спроектирован объемный композиционный полимерный материал для БОП (рис. 1). Материал обладает высокой стойкостью к тепловому излучению, устойчив к воздействию открытого пламени и другим опасным факторам пожара [2].



Рис. 1. Объемный композиционный полимерный материал

Целью работы является разработка математической модели нестационарного теплообмена через композиционный полимерный материал для определения его теплозащитных свойств и последующего изменения его состава, и конструктивного исполнения.

Одним из основных теплозащитных показателей БОП является время достижения предельно допустимого значения температуры в подкостюмном пространстве, или, другими словами, температуры на внутренней поверхности пакета материалов БОП¹. Формирование температуры в подкостюмном пространстве осуществляется за счет двух основных показателей: от теплового потока, действующего на внешнюю поверхность материала, и от характеристик теплового сопротивления данного материала. При установившемся внешнем тепловом потоке температура в подкостюмном пространстве плавно нарастает во времени и в конечном счете достигает критического значения, которое и определяет эффективность защитного действия БОП. Таким образом, увели-

чение продолжительности защитного действия БОП возможно только за счет улучшения теплоизолирующих свойств используемых конструкционных материалов. Следует акцентировать внимание на том, что при испытаниях БОП на соответствие нормативным требованиям экспериментальный подбор структуры и состава композиционного материала связан с большими материальными и трудовыми затратами. В связи с этим остро встает вопрос сокращения временных и материальных затрат на проведение стадии испытаний новых материалов. Нами была поставлена задача решения данной проблемы за счет разработки аналитического метода расчета распределения температуры в композиционном материале для БОП с учетом конструкционных особенностей и теплофизических свойств выбираемых конструкционных материалов.

Для определения зависимости температуры в подкостюмном пространстве возникает необходимость решения задачи теплопереноса в системе «Окружающая среда – композиционный текстильный материал – человек». При решении поставленной задачи облучаемая поверхность нами рассматривалась как неограниченная пластина. Такой подход объясняется тем, что толщина каждого слоя композиционного материала существенно меньше

¹ ГОСТ Р 53264-2019. Техника пожарная. Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. М: Стандратинформ. 2019. 37 с.

двух других линейных размеров. Так как исследуемый материал имеет сложную слоистую структуру, задача распределения температуры в любой момент времени для внешнего (слой 1) и внутреннего (слой 3) слоев сводилась к рассмотрению теплопереноса в многослойной пластине. Таким образом задача распределения температуры в теплоизолирующем слое была представлена в виде теплопереноса через ограниченный стержень в воздушной среде (в нашем случае теплоизолирующий (слой 2) слой представляет собой две текстильные поверхности, объединенные между собой армирующими несоприкасающимися между собой в пространстве ортогональными мононитями [3].

Схема процесса теплопереноса в композиционном полимерном материале (далее – материале) приведена на рис. 2. На внешнюю поверхность материала падает тепловой поток q_n . На внутреннюю поверхность материала воздействует тепловой поток от тела человека.

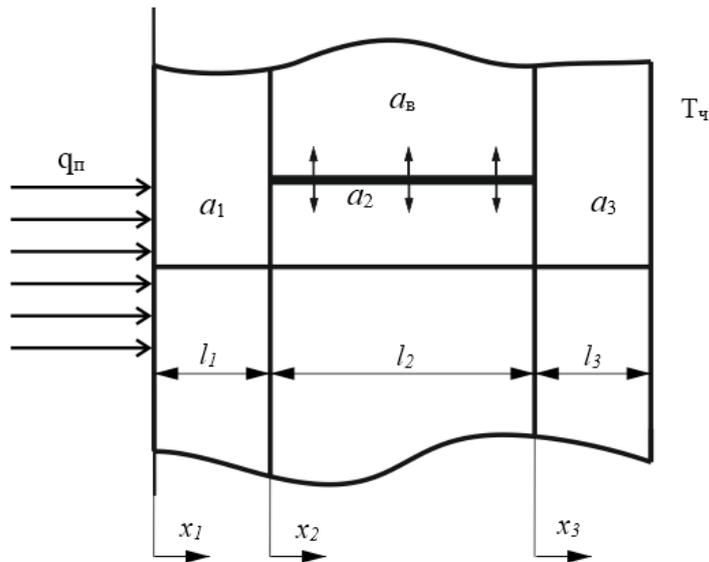


Рис. 2. Схема прогрева композиционного объемного материала

Исходя из физических представлений представленного процесса, дифференциальное уравнение нестационарного теплопереноса через первый слой материала будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial T_1(x_1, t)}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 T_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} \quad (t > 0, 0 \leq x_1 \leq l_1), \quad (1)$$

где: T_1 – температура 1-го слоя материала, °С; t – время, с.

Как уже отмечалось, 2-й слой состоит из армирующих ортогональных мононитей,

Задача разработки математической модели для рассматриваемого случая заключается в обосновании механизма распределения температуры по толщине многослойной пластины в любой момент времени. Для каждого слоя разработанного и моделируемого к производству композиционного материала известны численные значения коэффициента теплопроводности и его толщина.

На рис. 2 использованы следующие обозначения для слоев:

i – номер слоя ($i = 1, 2, 3$); a_i – коэффициент теплопроводности, (m^2/c); a_v – коэффициент теплопроводности воздуха, (m^2/c); l_i – толщина, (м); λ_i – коэффициент теплопроводности, ($Вт/(м \cdot ^\circ C)$); c_i – удельная теплоемкость, ($кДж/(кг \cdot ^\circ C)$); q_n – плотность теплового потока, ($Вт/м^2$); $T_{ч}$ – температура тела человека, °С; x_1, x_2, x_3 – пространственные координаты слоев в декартовой системе, (м).

размещенных в воздушной среде и не состоящих в контакте между собой - каждая мононить отстоит от других мононитей на некоторое расстояние. Нагрев воздуха внутри слоя осуществляется за счет теплоотдачи ограничивающих поверхностей, а также армирующих мононитей. В связи с этим теплоперенос в слое 2 осуществляется в двух взаимосвязанных системах «воздух» и «мононить». Следует учитывать тот факт, что температура воздушной среды будет изменяться во времени, что объясняется замкнутостью внутреннего объема композиционного материала, где располагаются мононити.

Схематическое представление теплообменного процесса во втором слое материала приведено на рис. 3, где T_2 – температура мононити, °С; T_3 – температура третьего слоя, °С; $T_в$ – температура воздушной среды во втором слое, °С; c_2 – удельная теплоемкость мононити, кДж/(кг·°С); ρ_2 – плотность мононити,

кг/м³; $\lambda_в$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С); $c_в$ – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); $\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м³; ω – количество тепла, отдаваемого единицей объема мононити в единицу времени в окружающую среду, (Вт/м³).

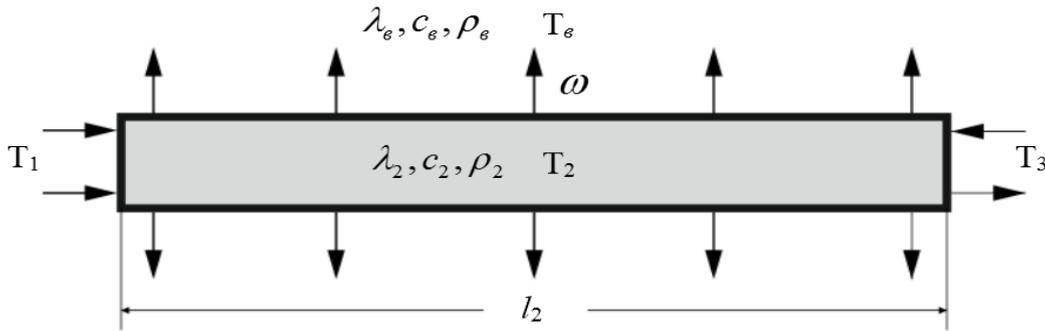


Рис. 3. Схема прогрева 2-го слоя материала

Математическая модель нестационарного теплопереноса через воздушную среду 2-го слоя материала представляется в виде дифференциального уравнения, где теплоотдачу с боковой поверхности мононити необхо-

димо учитывать в качестве положительного источника тепла.

Процесс теплопередачи во 2-м слое будет описываться следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2(x_2, t)}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} - \omega \\ c_в \rho_в \frac{\partial T_в(x_2, t)}{\partial t} = \lambda_в \frac{\partial^2 T_в(x_2, t)}{\partial x_2^2} + \omega \end{cases} \quad (t > 0, 0 \leq x_2 \leq l_2). \quad (2)$$

Исходя из вышеизложенного математическая модель нестационарного теплопереноса для 3-го слоя материала логично может быть представлена в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial T_3(x_3, t)}{\partial t} = a_3 \frac{\partial^2 T_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} \quad (t > 0, 0 \leq x_3 \leq l_3). \quad (3)$$

Сделаем допущение: пусть в начальный момент времени температура материала по всей толщине постоянна и равна T_0 :

$$T_1(x_1, 0) = T_2(x_2, 0) = T_в(x_2, 0) = T_3(x_3, 0) = T_0, \quad (4)$$

Одновременно зададимся граничными условиями:

- на левой границе (наружной поверхности) на материал воздействует тепловое излучение с постоянной поверхностной плот-

ностью. Часть падающего теплового излучения поглощается материалом, а другая часть отражается от его наружной поверхности. При этом вследствие нагрева происходит теплоотдача с наружной поверхности материала тепловой энергии в виде конвекции. Таким образом, баланс тепла на наружной поверхности многослойной пластины сведен к следующему граничному условию:

$$Aq_{II} - \alpha_1 \cdot T_1(0, t) = -\lambda_1 \frac{\partial T_1(0, t)}{\partial x_1}, \quad (5)$$

где: A – интегральная поглощательная способность первого слоя; α_1 – коэффициент теплоотдачи с наружного слоя, Вт/(м²·°С);

- на внутренней поверхности (правой границе) происходит процесс теплообмена с телом человека, таким образом, граничные условия третьего рода запишутся, как:

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3(l_3, t)}{\partial x_3} = \alpha_3 (T_3(l_3, t) - T_u), \quad (6)$$

$$\lambda_6 \frac{\partial T_6(l_2, t)}{\partial x_2} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(0, t)}{\partial x_3}; \quad (13)$$

где: α_3 – коэффициент теплоотдачи с 3-го слоя, Вт/(м²·°С); λ_3 – теплопроводность 3-го слоя материала, Вт/(м·°С); T_u – температура тела человека, °С.

Допуская равенство тепловых потоков и температур на границах сопрягаемых слоев, граничные условия четвертого рода запишутся, как:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(l_1, t)}{\partial x_1} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(0, t)}{\partial x_2}; \quad (7)$$

$$T_1(l_1, t) = T_2(0, t); \quad (8)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(l_1, t)}{\partial x_1} = \lambda_6 \frac{\partial T_6(0, t)}{\partial x_2}; \quad (9)$$

$$T_1(l_1, t) = T_6(0, t); \quad (10)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(l_2, t)}{\partial x_2} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(0, t)}{\partial x_3}; \quad (11)$$

$$T_2(l_2, t) = T_3(0, t); \quad (12)$$

$$T_6(l_2, t) = T_3(0, t). \quad (14)$$

Таким образом, система дифференциальных уравнений (1-3) вместе с начальными условиями (4) и граничными условиями (5–14) является искомой моделью нестационарного теплопереноса в композиционном материале в условиях пожара.

Температурное поле рассчитывалось с применением явной конечно-разностной схемы с использованием неравномерной сетки [4].

Поскольку толщины исследуемых трех слоев непропорциональны между собой, разбиение на частичные отрезки проводилось поэтапно.

Отрезок на оси x с границами 0 и l_1 разбивался на n_1 равных частей. Длину разбиения обозначим через h_1 . Аналогично произведем разбиение остальных отрезков. При этом, чтобы шаги разбиения разных слоев отличались на минимальное значение, примем $n_i = [l_i/h_1]$, $h_i = [l_i/n_i]$, $i = 2, 3$.

Значение шага по времени установим равным τ , а значение шага по координате внутри каждого слоя h .

Дифференциальные уравнения теплопереноса (1,2,3) в конечно-разностной схеме будут иметь вид:

$$T1_i^{k+1} = \frac{a_1 \tau (T1_{i-1}^k - T1_i^k)}{h_1^2} + T1_i^k \quad (i = 1, \dots, n_1); \quad (15)$$

$$\begin{cases} T2_i^{k+1} = \frac{a_2 \tau (T2_{i-1}^k - T1_i^k)}{h_2^2} - \frac{2\alpha_2 \tau (T2_i^k - T6_i^k)}{c_2 \rho_2 R} + T2_i^k \\ T6_i^{k+1} = \frac{a_6 \tau (T6_{i-1}^k - T1_i^k)}{h_2^2} + \frac{2\alpha_2 \tau (T2_i^k - T6_i^k)}{c_2 \rho_2 R} + T6_i^k \end{cases} \quad (i = 1, \dots, n_2); \quad (16)$$

$$T3_i^{k+1} = \frac{a_3 \tau (T3_{i-1}^k - T3_i^k)}{h_3^2} + T3_i^k \quad (i = 1, \dots, n_3); \quad (17)$$

$$(k = 1, \dots, k-1).$$

Аналоги для начальных и граничных условий:

– уравнение (5):

$$Aq_{II} - \alpha_1 \cdot T1_0^k = -\lambda_1 \frac{T1_1^k - T1_0^k}{h_1}; \quad (18)$$

– уравнение (6)

$$-\lambda_3 \frac{T3_{n_3}^k - T3_{n_3-1}^k}{h_3} = \alpha_3 (T3_{n_3}^k - T_u); \quad (19)$$

– уравнение (7):

$$\lambda_1 \frac{T1_{n_1}^k - T1_{n_1-1}^k}{h_1} = \lambda_2 \frac{T2_1^k - T2_0^k}{h_2}; \quad (20)$$

– уравнение (8):

$$T1_{n_1}^k = T2_0^k; \quad (21)$$

– уравнение (9):

$$\lambda_1 \frac{T1_{n_1}^k - T1_{n_1-1}^k}{h_1} = \lambda_6 \frac{T6_1^k - T6_0^k}{h_2}; \quad (22)$$

– уравнение (10):

$$T1_{n_1}^k = T6_0^k; \quad (23)$$

– уравнение (11):

$$\lambda_2 \frac{T2_{n_2}^k - T2_{n_2-1}^k}{h_1} = \lambda_3 \frac{T3_1^k - T3_0^k}{h_3}; \quad (24)$$

– уравнение (12):

$$T2_{n_2}^k = T3_0^k; \quad (25)$$

– уравнение (13):

$$\lambda_6 \frac{T6_{n_2}^k - T6_{n_2-1}^k}{h_2} = \lambda_3 \frac{T3_1^k - T3_0^k}{h_3}; \quad (26)$$

– уравнение (14):

$$T6_{n_2}^k = T3_0^k. \quad (27)$$

Полученная математическая модель теплопереноса через композиционный полимерном материал реализована в виде компьютерной программы. Данная программа позволяет получить распределения температуры по слоям композиционного многослойного полимерного материала для БОП в процессе тепловых воздействий различной природы и провести оценку эффективности разрабатываемого к производству теплоизолирующего композиционного материала на основании всестороннего теоретического анализа процессов теплопередачи (рис. 4).

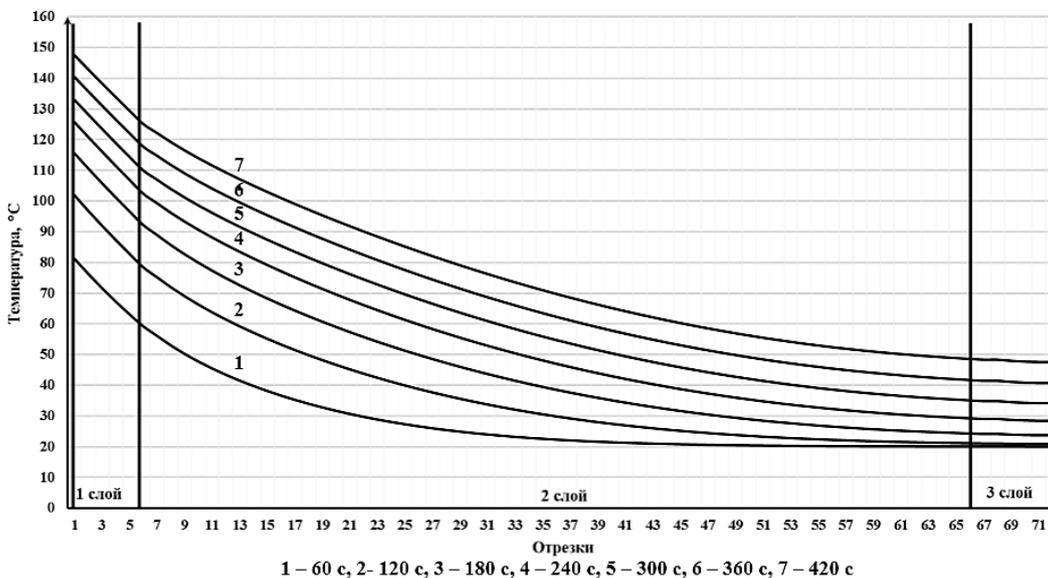


Рис. 4. График распределения температуры в материале

Заключение. Резюмируя результаты проделанной работы, считаем необходимым сделать следующие выводы:

– для проектирования композиционных многослойных полимерных материалов БОП предложена математическая модель нестационарного теплообмена, позволяющая дать априорную оценку теплозащитной эффективности проектируемого материала;

– использование результатов расчетов, выполненных с помощью предлагаемой мате-

матической модели, позволяет осуществлять подбор состава и толщины слоев, количество и толщину армирующих нитей для производства материалов с требуемыми свойствами и заменить их экспериментальный подбор при проектировании защитной одежды;

– внедрение предлагаемого метода оптимизации проектирования теплоизолирующих материалов позволит существенно снизить материальные, временные и трудовые затраты на данный процесс.

Список литературы

1. Патент 191460 Российская Федерация D 03 D 15/12. Объемный тканый огне-теплозащитный материал / Д. В. Сорокин, А. Л. Никифоров, О. Г. Циркина [и др.]; опубл. 06.05.2019, Бюл. № 22.

2. Композиционный полимерный материал для боевой одежды пожарного с улучшенными эксплуатационными характеристиками / Д. В. Сорокин, А. Л. Никифоров, О. Г. Циркина [и др.] // SMARTEX – 2019: сборник материалов XXII Международного научно-практического форума. Иваново: ИВГПУ, 2019. С. 47–51.

3. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высш. Шк., 1967. 600 с.

4. Кузнецов Г. В., Шеремет М. А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 172 с.

References

1. D. V. Sorokin, A. L. Nikiforov, O. G. Tsirkina [et al.]. Ob"yemnyy tkanyy ogne-teplozashchitnyy material [Volumetric woven fire and heat protection material], Patent 191460 Rossiyskaya Federatsiya D 03 D 15/12, opubl. 06.05.2019, Byul. № 22.

2. Kompozitsionnyy polimernyy material dlya boyevoy odezhdy pozharnogo s uluchshennymi ekspluatatsionnymi kharakteristikami [Composite polymer material for firefighter combat clothing with improved performance] / D. V. Sorokin, A. L. Nikiforov, O. G. Tsirkina [et al.] // *Sbornik materialov XXII Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma «SMARTEX – 2019»*, Ivanovo: IVGPU, 2019, pp. 47–51.

3. Lykov A. V. Teoriya teploprovodnosti [Theory of thermal conductivity]. M.: Vyssh. Shk., 1967, 600 p.

4. Kuznetsov G. V., Sheremet M. A. Raznostnyye metody resheniya zadach teploprovodnosti: uchebnoye posobiye [Difference methods for solving problems of heat conduction: textbook]. Tomsk: Izd-vo TPU, 2007, 172 p.

Сорокин Дмитрий Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: element_37@mail.ru

Sorokin Dmitriy 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

E-mail: element_37@mail.ru

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

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

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical sciences, professor, senior researcher

E-mail: anikiforoff@list.ru

Егорова Надежда Евгеньевна

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: ne_egorova@mail.ru

Egorova Nadezhda Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

E-mail: ne_egorova@mail.ru

Ульева Светлана Николаевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Ulieva Svetlana Nikolaevna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: jivotjagina@mail.ru

УДК 614.841.34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВАЕМОГО СЕГМЕНТА ДИСКА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА СПЕЦИАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА

С. В. ФЕДОСОВ^{1,2}, А. А. ЛАЗАРЕВ³, М. В. ТОРОПОВА⁴, В. Г. МАЛИЧЕНКО⁴, Д. Е. ЦВЕТКОВ²

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

² ФГБУО ВО Поволжский государственный технологический университет, Российская Федерация, г. Йошкар-Ола,

³ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Иваново,

⁴ ФГБУО ВО Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: kgn@edufire37.ru

Основное количество пожаров, перешедших с одного объекта на другой, повреждает или уничтожает, как показывает статистика, здания V степени огнестойкости. Как правило, данные здания строятся с использованием древесины. Анализ литературы указывает на наличие значительного количества решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности деревянных жилых домов. В основном эти решения направлены на проведение огнезащиты, без использования активных средств, обладающих способностью обнаруживать пожар дистанционно. Однако применение указанных средств допускается при размещении принимающей поверхности термочувствительного элемента указанного средства и излучающей поверхности определенным образом. Эти поверхности не являются перпендикулярными. Цель исследования заключается в установлении основных параметров нагреваемого сегмента диска термочувствительного элемента, который находится внутри специального строительного изделия для обнаружения пожара на рядом расположенных объектах.

Авторами проведены стендовые испытания для получения эмпирических данных. При помощи этих данных и с учетом положений планиметрии и тригонометрии были получены уравнения, описывающие зависимость нагреваемой площади поверхности диска и её температуры от центрального угла этого диска. Первое уравнение характеризует зависимость площади нагреваемого сегмента диска термочувствительного элемента специального строительного изделия от величины центрального угла диска. Второе уравнение позволяет описать зависимость температуры нагреваемых сегментов диска термочувствительного элемента специального строительного изделия при заданных условиях от величины центрального угла диска. Данные уравнения предлагается использовать для оценки интенсивности теплового излучения под различным углом воздействия во время пожара. Они позволяют определять основные параметры, которые необходимы для изготовления дисков термочувствительных элементов, а также определения мест их установки и ориентации на потенциально угрожающий пожаром объект.

Ключевые слова: обнаружение пожара, термочувствительный элемент, уравнение, пожарная безопасность, сенсор.

DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE HEATED DISK SEGMENT A THERMOSENSITIVE ELEMENT OF A SPECIAL CONSTRUCTION PRODUCTS FOR FIRE DETECTION

S. V. FEDOSOV^{1,2}, A. A. LAZAREV³, M. V. TOROPOVA⁴, V. G. MALICHENKO⁴, D. E. TSVETKOV²

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

² Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Technology», Russian Federation, Yoshkar-Ola,

³ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation

for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

⁴Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Politechnical University»,
Russian Federation, Ivanovo.
E-mail: kgn@edufire37.ru

Quite often, fires move from one object to another. The main number of such fires damages or destroys buildings of the V degree of fire resistance. This is indicated in the fire statistics. Buildings of the V degree of fire resistance are built mainly using wood. An analysis of the literature indicates the presence of a significant number of solutions to ensure the fire safety of such houses. Basically, these solutions are aimed at fire protection. At the same time, there is no provision for the use of active protective equipment to detect a fire remotely. However, the use of these means is allowed when placing the receiving surface of the thermosensitive element of the specified means and the radiating surface in a certain way. These surfaces are not perpendicular. The purpose of the study is to establish the main parameters of the heated disk segment of the thermosensitive element. This disk is located inside a special construction product for detecting fire at nearby objects.

The authors conducted bench tests to obtain empirical data. With the help of these data and taking into account the positions of planimetry and trigonometry, the equations were obtained. These equations describe the dependence of the heated surface area of the disk and its temperature on the central angle of this disk. The first equation characterizes the dependence of the area of the heated disk segment of the thermosensitive element of a special construction product on the value of the central angle of the disk. The second equation allows us to describe the dependence of the temperature of the heated segments of the disk of a thermosensitive element of a special construction product under given conditions on the value of the central angle of the disk. It is proposed to use these equations to estimate the intensity of thermal radiation at different angles of exposure during a fire. They allow you to determine the basic parameters of the disks of thermosensitive elements. These parameters are necessary for the manufacture of these disks, determining their installation locations and orientation to a potentially fire-threatening object.

Key words: fire detection, thermosensitive element, equation, equation, fire safety, sensor.

В 2019 году в России 82 % пожаров, перешедших с одного объекта на другой, повредили или уничтожили здания V степени огнестойкости¹. Эти объекты, как правило, выполняются из древесины — одного из самых распространенных, но горючих строительных материалов для возведения зданий [1]. Она обладает такими качествами, как сравнительно высокая прочность, небольшая плотность, достаточная упругость, малая теплопроводность, легкость механической обработки. Конструкции из древесины в условиях нормальной эксплуатации могут сохранять длительный период времени [2–9]. Древесину используют для изготовления несущих конструкций зданий: ферм, арок, балок, прогонов, стропил, каркасов, а также ограждающих элементов: стеновых панелей, перегородок. Древесина также используется для изготовления столярных изделий для домов и хозяйственных построек: окон, дверей, полов, плинтусов, наличников. В строительстве древесину применяют в виде круглых лесоматериалов или пиломатериалов. Древесно-волокнистые, древесно-стружечные

плиты, фибролит, арболит содержат в своем составе отходы древесины. Также широкое распространение получили клееные конструкции и детали из древесины [2].

Характеристики строительных изделий и конструкций из древесины изучались В. И. Травушем [2], И. Н. Буцук [3], Л. Н. Музыченко [3], Б. В. Лабудиным [4], В. С. Морозовым [4], И. И. Лисицким [5], В. Н. Волынским [8], В. Н. Глухих [10], В. Г. Котловым [6, 9], Т. Г. Бельцовой [11], Ж. К. Макишевым [12] и другими.

Одним из направлений понижения пожарной опасности древесины является проведение огнезащитной обработки. Существующие способы огнезащиты древесины различаются по механизму огнезащитного эффекта. К ним можно отнести нанесение огнезащитных красок и обмазок, проведение огнезащитной пропитки [11].

Однако, при применении активных способов защиты деревянных зданий от пожара по-прежнему актуальной остается проблема обнаружения интенсивного теплового воздействия пожара. Вариантом решения данной проблемы может быть создание специальных строительных изделий (далее – ССИ) с размещением внутри них пожарных извещателей [13, 14]. Основным тепловоспринимающим элементом данных изделий является термочувствитель-

¹ Статистика пожаров [Электронный ресурс].
<https://www.sites.google.com/site/statistikapozaro/>
(дата обращения: 17.04.2022).

ный элемент (далее – ТЭ). Параметры процесса нагрева ТЭ ССИ показаны на рис. 1.

На рис. 1 а) иллюстрируется зависимость температуры источника излучения и ТЭ ССИ (t) от расстояния между ними (R_H) при различных тепловых потоках (q, q_1, q_2), участок ОР описывает температурное поле внутри ТЭ ССИ (по толщине диска R_D) при нагревании до температуры срабатывания $t_{сраб}$. При тепловом потоке q_1 на расстоянии R_H^1 происходит нагрев ТЭ ССИ до температуры t_1 . Тепловому потоку q_2 соответствует нагрев ТЭ ССИ до температуры t_2 на расстоянии R_H^2 . Для нагрева ТЭ ССИ, размещенного на расстоянии R_H^A до температуры срабатывания $t_{сраб}$ необходим тепловой поток q . Следовательно, воздействие теп-

лового потока на ТЭ ССИ, которое иллюстрируется на рисунке 1 а), не всегда приводит к его срабатыванию. Например, при тепловых потоках q_1 и q_2 . Только тепловой поток q позволяет нагреть ТЭ ССИ до температуры срабатывания $t_{сраб}$ на расстоянии R_H^A . При этом измерение температуры термочувствительный элемент изделия осуществляется в точке R. На рис. 1 б) показана зависимость температуры ТЭ ССИ (t) от коэффициента теплоотдачи (α). На данном рисунке начальной температуре нагрева t_H соответствует коэффициент теплоотдачи $\alpha_{конв}$. При повышении температуры до t_1 коэффициент теплоотдачи увеличивается и достигает значения α_1 .

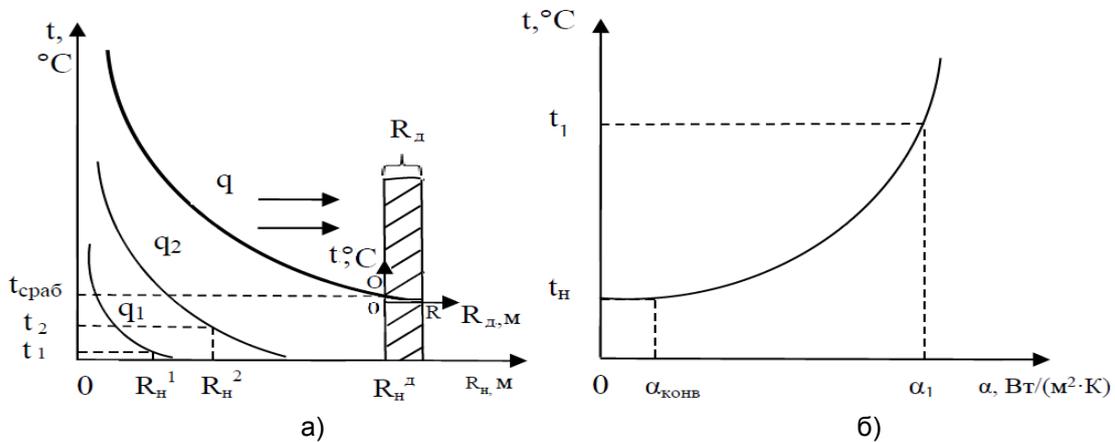


Рис. 1. Зависимость изменения температуры ТЭ ССИ: а) от расстояния; б) от коэффициента теплоотдачи

Следует отметить, что проблема частичного нагрева конструктивных элементов зданий в случае пожаров, при которых принимающая и излучающая поверхности не являются перпендикулярными, рассматривалась в трудах Ю. А. Кошмарова [15]. При определении зависимости интенсивности облучения горючего материала от воздействия теплового излучения от фронта пламени в известном стационарном методе, изложенном в приложении 3 государственного стандарта², для учета нагрева под различными углами предусмотрен соответствующий коэффициент $\varphi_{1\phi}$. Получаемые в результате расчета значения интенсивности облучения позволяют определить выполнение условия безопасности при пожаре после сравнения с критическим значением для конкретного горючего материала.

В данном случае интенсивность облучения рассчитывается по формуле (1)²:

$$g_p = 5,7 \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_{\phi}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{св}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1\phi}, \quad (1)$$

где 5,7 - коэффициент излучения абсолютно черного тела, $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-4}$;

ε_{np} - приведенная степень черноты системы;

ε_{ϕ} - степень черноты факела;

$\varepsilon_{в}$ - степень черноты облучаемого вещества;

T_{ϕ} - температура факела пламени, К;

$T_{св}$ - температура горючего вещества, К;

$\varphi_{1\phi}$ - коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями.

Вместе с тем, поглощение теплового излучения ТЭ ССИ изучено не было. При исследовании процесса нагрева сегмента диска ТЭ ССИ требуется определение основных па-

² Государственный стандарт СССР ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие

требования» (утв. постановлением Госстандарта СССР от 14 июня 1991 г. № 875).

раметров, к которым можно отнести площадь нагреваемого сегмента и его температуру.

С целью изучения данной проблематики был проведен численный эксперимент, который заключался в определении температуры ТЭ ССИ круглой формы в том случае, когда нагревается только сегмент диска ТЭ. Как известно, площадь сегмента (I) рассчитывается в двух вариантах: путем сложения (а) или вычитания (в) площади сектора (III, б) и площади треугольника (II, а), прилегающего к нему (рис. 2). Случай, в котором нагревается меньшая часть диска – сегмент (I) изображен на рис. 2 а). Случай, в котором нагревается большая часть диска, изображен на рис. 2 в). Здесь обозначен ненагреваемый сегмент диска (IV).

Следовательно, на основании подхода, учитывающего положения планиметрии и тригонометрии, расчет площади нагреваемого сегмента диска ТЭ ССИ можно выполнить по формуле [16]:

$$S(\varphi) = \begin{cases} R_d^2 \left(\pi \frac{\varphi}{360} - \frac{\sin \varphi}{2} \right), & \varphi < 180^\circ \\ R_d^2 \left(\pi \frac{\varphi}{360} + \frac{\sin(-\varphi)}{2} \right), & \varphi > 180^\circ \end{cases}, \quad (2)$$

где: R_d – радиус диска ТЭ ССИ, м, φ – центральный угол, °.

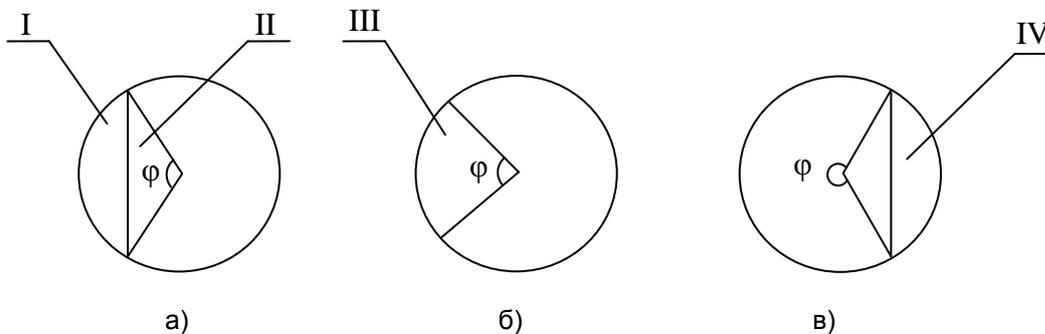


Рис. 2. Схема для расчета площади нагреваемого сегмента диска: а) сегмент при $\varphi < 180^\circ$; б) сектор; в) сегмент при $\varphi > 180^\circ$

На рис. 3 показаны результаты расчета площади нагреваемого сегмента диска ТЭ ССИ с радиусом 0,025 м в зависимости от центрального угла φ .

С целью определения зависимости температуры указанного ТЭ ССИ ($T(\varphi), ^\circ\text{C}$) от центрального угла, определяющего площадь нагрева соответствующего сегмента ($S, \text{м}^2$)

были получены эмпирические данные. Замер температуры нагреваемого сегмента ТЭ черного цвета осуществлен пирометром. Расстояние от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр было равно 0,2 м. Мощность воздействия инфракрасного излучателя равнялась 2000 Вт, воздействие осуществлялось в течение 10 минут.

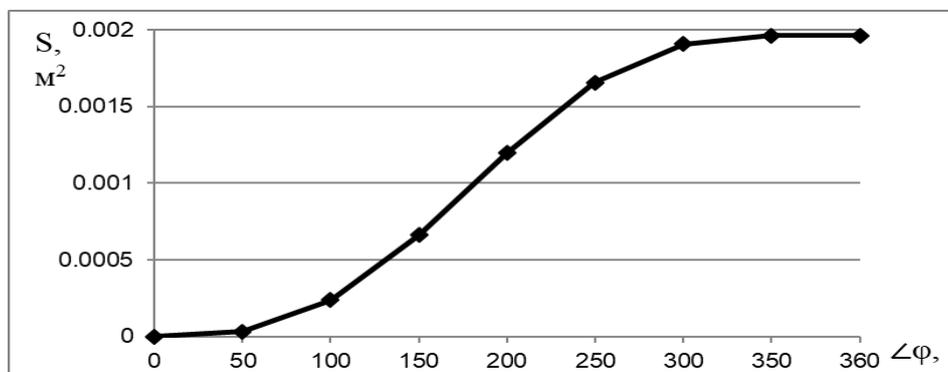


Рис. 3. Зависимость площади нагреваемого сегмента диска ТЭ ССИ с радиусом 0,025 м от величины центрального угла φ .

После аппроксимации данных получено уравнение:

$$T(\varphi) = 37,98 \varphi^{0,06} \quad (3)$$

Расчеты, проводимые по уравнениям (2) и (3), показали, что при значении центрального угла φ менее 280° срабатывание пожарного извещателя в ССИ не происходит.

Таким образом, в целях определения основных параметров нагреваемого сегмента диска ТЭ ССИ при улавливании им инфракрасного излучения от рядом расположенного излучателя был осуществлен ряд экспериментов при различных условиях нагревания определенного диска. На основании полученных результатов представляется возможным сделать выводы:

1. Проведенный анализ современных подходов и требований технических нормативных правовых актов для оценки интенсивности теплового излучения под различным углом воздействия во время пожара показал необходимость разработки новой методики для определения основных параметров нагреваемого сегмента диска ТЭ ССИ.

2. Стендовые испытания позволили получить эмпирические данные, на основании совокупности которых, а также при помощи

положений планиметрии и тригонометрии были получены уравнения. Полученное степенное уравнение, позволяет описать зависимость температуры сегментов ТЭ ССИ при заданных условиях от величины центрального угла диска. Погрешность аппроксимации не превышает 4 %.

3. Предложенные уравнения позволяют определять основные параметры, которые необходимы для изготовления дисков ТЭ, а также определения мест их установки и ориентации на потенциально угрожающий пожаром объект.

4. При мощности инфракрасного излучения в 2000 Вт было определено пороговое значение центрального угла φ , менее которого срабатывание пожарного извещателя в ССИ не происходит. Величина угла этого порогового значения равна 280° .

5. Полученные результаты предназначены для выработки технических решений для зданий V степени огнестойкости, несущие конструкции которых выполнены, как правило, из древесины. Эти решения позволяют разрабатывать новые ССИ с ТЭ круглой формы, а предложенные методологические основы позволяют оценивать основные параметры нагреваемых сегментов ТЭ.

Список литературы

1. О проблеме совершенствования строительных изделий, обеспечивающих пожарную безопасность малоэтажных зданий / С. В. Федосов, В. И. Голованов, А. А. Лазарев [и др.] // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 57–63.

2. Разработка конструкций из цельной древесины для объектов инфраструктуры / К. П. Пятикрестовский, В. И. Травуш, А. А. Погорельцев [и др.] // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2018. Т. 14. № 1. С. 145–154.

3. Буцук И. Н., Музыченко Л. Н., Мельникова И. Г. Применение клееной древесины в современном строительстве // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. № 1 (22). С. 143–148.

4. Лабудин Б. В., Морозов В. С., Орлов А. О. Компьютерный расчет напряженно-деформированного состояния узлового соединения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 3. С. 45–51.

5. Лисицкий И. И., Жаданов В. И. Узловые соединения ферменных конструкций на основе вклеенных плоских стержней // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 3. С. 59–68.

6. Котлов В. Г., Кузнецова Ю. А. Расчет эффективности использования металлических зубчатых пластин для соединения дощатых ферм // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 3. С. 69–80.

7. Пожарная профилактика в строительстве / Б. В. Грушевский, А. И. Яковлев, И. Н. Кривошеев [и др.]. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. 454 с.

8. Волынский В. Н., Пластинин С. Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях. М.: ООО «Риэл-Пресс», 2005. 255 с.

9. Fedosov S., Kotlov V. Dynamics of heat and moisture transfer in wooden structures tied with metallic fasteners. *Drying Technology*, 2020, vol. 38, issue 1–2, pp. 19–26.

10. Глухих В. Н., Охлопкова А. Ю. Определение изгибающего момента и прогиба

в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1 (361). С. 89–98.

11. Бельцова Т. Г., Корольченко О. Н. Средства огнезащиты древесины (обзор патентной литературы) // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15. № S12. С. 23–35.

12. Макишев Ж. К., Сивенков А. Б. Огнестойкость деревянных конструкций с длительным сроком эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 3. С. 34–44.

13. Противопожарный контроль соседних зданий при помощи сенсоров «умного дома» / С. В. Федосов, Н. И. Ватин, А. А. Лазарев [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 125–135.

14. Equations for the operating temperature of thermosensitive elements of fire detectors embedded in a concrete block / S. V. Fedosov, A. A. Lazarev, M. V. Toropova [et al.]. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. Vol. 4 (48). pp. 31–38.

15. Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М.: Высшая инженерная и пожарнотехническая школа МВД СССР, 1987. 444 с.

16. Лазарев А. А. Наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05, 05.26.03. Иваново, 2021. 181 с.

References

1. O probleme sovershenstvovaniya stroitel'nykh izdeliy, obespechivayushchikh pozharnuyu bezopasnost' maloetazhnykh zdaniy [On the problem of improving building products that ensure the fire safety of low-rise buildings] / S. V. Fedosov, V. I. Golovanov, A. A. Lazarev [et al.]. *Stroitelnyie materialy*, 2021, issue 3, pp. 57–63.

2. Razrabotka konstruktsiy iz tsel'noy drevesiny dlya ob'yektov infrastruktury [Development of solid wood structures for infrastructure facilities] / K. P. Pyatikrestovskiy, V. I. Travush, A. A. Pogoreltsev [et al.]. *Mejdunarodnyiy jurnal po raschetu grajdanskikh i stroitelnyih konstruktsiy*, 2018, vol. 14, issue 1, pp. 145–154.

3. Butsuk I. N., Muzyichenko L. N., Melnikova I. G. Primeneniye kleyenoy drevesiny v sovremennom stroitel'stve [The use of glued timber in modern construction]. *Nauchnyiy jurnal. Inzhenernyie sistemy i sooruzeniya*, 2016, vol. 1 (22), pp. 143–148.

4. Labudin B. V., Morozov V. S., Orlov A. O. Komp'yuternyy raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya uzlovogo soyed-

ineniya [Computer calculation of the stress-strain state of a nodal joint]. *Vestnik Povoljskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tehnologii*, 2019, issue 3, pp. 45–51.

5. Lisitskiy I. I., Jadanov V. I. Uzlovyie soyedineniya fermennykh konstruktsiy na osnove vkleyennykh ploskikh sterzhney [Nodal connections of truss structures based on glued flat rods]. *Vestnik Povoljskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tehnologii*, 2019, issue 3, pp. 59–68.

6. Kotlov V. G., Kuznetsova Yu. A. *Vestnik Povoljskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tehnologii*, 2019, issue 3, pp. 69–80.

7. *Pojarnaya profilaktika v stroitel'stve* [Fire prevention in construction]. B. V. Grushchevskiy, A. I. Yakovlev, I. N. Krivosheev [et al.]. Moscow: 1985, 454 p.

8. Volyinskiy V. N., Plastinin S. N. *Pervichnaya obrabotka pilomaterialov na lesopilnyih predpriyatiyah* [Primary processing of lumber at sawmills]. Moscow: 2005, 255 p.

9. Fedosov S., Kotlov V. Dynamics of heat and moisture transfer in wooden structures tied with metallic fasteners. *Drying Technology*, 2020, vol. 38, issue 1–2, pp. 19–26.

10. Gluhii V. N., Ohlopko A. Yu. Opredeleeniye izgibayushchego momenta i progiba v secheniyakh pilomaterialov listvennitsy daurskoy ot deystviya nachal'nykh napryazheniy [Determination of the bending moment and deflection in the sections of Dahurian larch lumber from the action of initial stresses]. *Izvestiya vysshikh uchebnyih zavedeniy. Lesnoy jurnal*. 2018, vol. 1 (361), pp. 89–98.

11. Beltsova T. G., Korolchenko O. N. Sredstva ognезashchity drevesiny (obzor patentnoy literatury) [Means of fire protection of wood (review of patent literature)]. *Pozharovzryivobezopasnost*, 2006, vol. 15, issue S12, pp. 23–35.

12. Makishev J. K., Sivenkov A. B. Ognestoykost' derevyannykh konstruktsiy s dlitel'nym srokom ekspluatatsii [Fire resistance of wooden structures with a long service life]. *Pozharovzryivobezopasnost*, 2016, vol. 25, issue 3, pp. 34–44.

13. Protivopozharnyy kontrol' sosednikh zdaniy pri pomoshchi sensorov «umnogo doma» [Fire control of neighboring buildings using smart home sensors] / S. V. Fedosov, N. I. Vatin, A. A. Lazarev [et al.]. *Sovremennyye problemy grajdanskoy zaschity*, 2020, vol. 3 (36), pp. 125–135.

14. Equations for the operating temperature of thermosensitive elements of fire detectors embedded in a concrete block / S. V. Fedosov, A. A. Lazarev, M. V. Toropova [et al.]. *Russian*

Journal of Building Construction and Architecture, 2020, vol. 4 (48), pp. 31–38.

15. Koshmarov Yu. A., Bashkirtsev M. P. *Termodinamika i teploperedacha v pojarном dele* [Thermodynamics and heat transfer for firefighters]. M.: Vysshaya inzhenernaya i pozharно-tekhnicheskaya shkola MVD SSSR, 1987, 444 p.

16. Lazarev A. A. *Narujnyie stenovyye izdeliya dlya distantsionnoy diagnostiki pojarной bezopasnosti maloetajnyih zdaniy*. Diss. kand. tekhn. nauk [External wall products for remote diagnostics of fire safety of low-rise buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2021. 181 p.

Федосов Сергей Викторович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Российская Федерация, г. Москва, ФГБУО ВО Поволжский государственный технологический университет, Российская Федерация, г. Йошкар-Ола, академик РААСН, Заслуженный деятель науки РФ, Лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, Почётный строитель России, Лауреат Государственной премии Республики Марий Эл в области архитектуры и строительства, д.т.н., профессор
E-mail: FedosovSV@mgsu.ru

Fedosov Sergey Viktorovich

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Russian Federation, Moscow, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Technology», Russian Federation, Yoshkar-Ola, Academician of RAASN, Honored worker of science of the Russian Federation, Laureate of the Russian Government Prize in Science and Technology, Honorary Builder of Russia, Laureate of the State Prize of the Republic of Mari El in the Field of Architecture and Construction, Doctor of Engineering Sciences, Professor
E-mail: FedosovSV@mgsu.ru

Лазарев Александр Александрович

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

Lazarev 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 pedagogic sciences, assistant professor of chair
E-mail: kgn@edufire37.ru

Торопова Марина Владиевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: mators@mail.ru

Toropova Maria Vladievna

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Polytechnical University», Russian Federation, Ivanovo
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: mators@mail.ru

Маличенко Вячеслав Геннадиевич

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

аспирант кафедры естественных наук и техносферной безопасности
E-mail: mvg84@bk.ru
Maslichenko Vyacheslav Gennadievich
Federal State Educational Institution of Higher Education
Ivanovo State Polytechnic University
Russian Federation, Ivanovo
graduate student of chair of natural sciences and technosphere safety
E-mail: mvg84@bk.ru

Цветков Дмитрий Евгеньевич
ФГБУО ВО Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, г. Йошкар-Ола
аспирант
E-mail: cvetkov-dmitrii@mail.ru
Tsvetkov Dmitry Evgenievich
Federal State Budget Educational Institution of Higher
Education «Volga State University of Technology»,
Russian Federation, Yoshkar-Ola
graduate student
E-mail: cvetkov-dmitrii@mail.ru

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

УДК 66.011:66.023

**ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТА ИЗ БИОПОЛИМЕРОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

С. В. НАТАРЕЕВ^{1,3}, Д. Е. ЗАХАРОВ², А. Ю. СЕМЕНОВ¹, Н. Ю. АКСЮКОВА³
¹ ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет,
Россия, г. Иваново,
² Выксунский металлургический завод,
Россия, Нижегородская обл., г. Выкса,
³ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: natoret@mail.ru

Предложена технология получения сорбента из древесных опилок и хитозана. Древесные опилки измельчают, обрабатывают 0,05 % раствором гидроксида натрия, 2 % раствором соляной кислоты, промывают от раствора кислоты водой до pH 5 и отжимают до влажности 30 %. Затем полученную массу последовательно обрабатывают раствором хитозана в уксусной кислоте, раствором глутарового альдегида и раствором аминокислотной кислоты, проводят в молярном соотношении древесные опилки:хитозан:глутаровый альдегид:аминокислотная кислота, равном 1:0,3:0,2:0,05. Полученную смесь гранулируют и сушат. Изучены сорбционные свойства сорбента в динамических условиях. Способ извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов заключается в пропускании раствора через неподвижный слой набухшего гранулированного адсорбента. Сняты выходные кривые ионного обмена $\text{Cu}^{2+}\text{-Na}^+$, $\text{Zn}^{2+}\text{-Na}^+$, $\text{Na}^+\text{-Cu}^{2+}$ и $\text{Na}^+\text{-Zn}^{2+}$. Определены сорбционные свойства сорбента. Полная динамическая обменная емкость сорбента по ионам меди составляет 0,207 кг-экв/м³. Рабочая обменная емкость сорбента не превышает 0,06 кг-экв/м³. Максимальное время защитного действия слоя сорбента равно 1200 с. Сорбент регенерируется раствором гидроксида натрия от ионов меди на 79 % и ионов цинка на 81 %. Даны рекомендации по применению сорбента в системах водоснабжения.

Ключевые слова: природный сорбент, древесные опилки, хитозан, ионный обмен, водоснабжение.

**OBTAINING SORBENT FROM BIOPOLYMERS AND USING IT
IN WATER SUPPLY SYSTEMS IN EMERGENCY SITUATIONS**

S. V. NATAREEV¹, D. E. ZAKHAROV², A. U. SEMYONOV¹, N. YU. AKSYUKOVA³

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

²Vyksa Steel Works,
Russian Federation, Vyksa,

³Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: natoret@mail.ru

The technology of obtaining a sorbent from sawdust and chitosan is proposed. Wood sawdust is milled, treated with a 0,05 % solution of sodium hydroxide and a 2–3 % solution of hydrochloric acid, washing with acid solution with water to pH 5, wringing to 50 % humidity. Next, the resulting mass is sequentially treated with a solution of chitosan in acetic acid, a solution of glutaraldehyde and a solution of aminoacetic acid, carried out in molar ratio wood sawdust:chitosan:glutaraldehyde:aminoacetic acid, equal to 1:0.3:0.2:0.05. Resulting mixture is granulated and dried. Sorption properties of the sorbent under dynamic conditions have been studied. Method for extracting heavy metal ions from aqueous solutions consists in passing the solution through a fixed layer of a swollen granular adsorbent. Output ion exchange curves Cu^{2+} - Na^+ , Zn^{2+} - Na^+ , Na^+ - Cu^{2+} and Na^+ - Zn^{2+} were obtained. Sorption properties of the sorbent under dynamic conditions are determined. The total dynamic exchange capacity of the sorbent for copper ions is 0.207 kg-eq/m^3 . The working exchange capacity of the sorbent does not exceed $0,06 \text{ kg-eq/m}^3$. The maximum time of the protective action of the sorbent layer is 1200 s. The sorbent is regenerated with a solution of sodium hydroxide from copper ions by 79 % and from zinc ions by 81 %. Recommendations for the use of sorbent in water supply systems are given.

Key words: natural sorbent, wood sawdust, chitosan, ion exchange, water supply, sorption properties.

В чрезвычайных ситуациях достаточно часто возникают проблемы со снабжением населения, промышленных предприятий, аварийных служб и других потребителей водой из-за ее недостатка или загрязнения токсичными веществами. При организации водоснабжения в чрезвычайных ситуациях следует исходить из потребности одного человека в воде для хозяйственно-питьевых и хозяйственных нужд около 10 литров в сутки. Для больного человека, находящегося на стационарном лечении объем потребляемой воды возрастает до 100 литров в сутки [1, 2]. В случае загрязнения воды предусматривается ее очистка с использованием табельных средств, состоящих на вооружении подразделений МЧС [3]. К средствам очистки воды относятся полевые фильтры (НФ-30, ТУФ-200, ПФ-200), переносная водоочистная установка ПВУ-300, войсковые фильтровальные станции (ВФС-2,5, МАФС-3, ВФС-10), средства опреснения воды (ОПС, ОПС-5) и станции комплексной очистки (СКО), технические характеристики которых можно найти в [4]. Для умягчения и обессоливания воды предусматривается обработка воды методом ионного обмена с помощью ионитов, представляющих собой твердые органические полимеры, которые могут обмениваться с раствором ионами (катионами или анионами) [5]. В связи с высокой стоимостью синтетических ионитов в настоящее время ведется активный поиск новых ионообменных материалов из доступных природных биополимеров. Одним из распространенных природных полимеров на земле являются целлюлоза. В большом количестве целлюлоза содержится в древесине (40–70 %), стеблях льна (60–85 %), соломе злаковых культур (35–50 %) и хлопке (95–98 %). Обзор способов получения сорбентов из растительного сырья приведен в работах [6, 7].

Хитин является вторым после целлюлозы распространенным биополимером. Он представляет собой аминополисахарид, являющийся главным компонентом внешнего скелета насекомых, ракообразных и клеточных стенок многих грибов. Производимый из хитина хитозан является природным катионным полиэлектролитом, содержащим аминогруппы, способные связывать ионы тяжелых металлов [8, 9].

В работе предлагается принципиальная схема получения гранулированного композиционного сорбента из природных биополимеров для очистки воды от ионов тяжелых металлов, которая представлена на рис. 1.

Исходным сырьем служат древесные опилки и хитозан. Согласно технологической схеме (рис. 1) сухие древесные опилки подвергают измельчению в молотковой дробилке ударного типа 1. Затем измельченные опилки поступают в емкостной аппарат 2 с лопастной мешалкой со сложным движением, где перемешиваются с 0,05 %-ным раствором NaOH и выдерживаются при температуре 297 К в течение 60 мин при модуле раствор/сорбент 20 мл/г. Щелочная обработка способствует набуханию древесины и удалению из нее щелочерастворимых компонентов. Отработанный раствор щелочи сливается в нижней части аппарата 2 в емкость 3, где он нейтрализуется раствором кислоты. Затем проводится отмывка опилок водой от щелочи и обработка их 2 %-ным раствором HCl до получения pH 5. В случае, если $\text{pH} > 5$, то после смешения влажных опилок с раствором хитозана наблюдается нежелательное явление выпадения хитозана в осадок. Также нецелесообразно $\text{pH} < 5$ из-за повышенного расхода соляной кислоты. Обработанные таким образом опилки поступают в шнековый пресс-сепаратор 4 для механического обезвоживания. Полученный раствор поступает в емкость 3 для нейтрализации. Отжатые

опилки с влажностью 30 % подаются в смеситель 5, где последовательно смешиваются с 12 %-ным раствором хитозана в 2 %-ном растворе уксусной кислоты в течение 30 мин, 25 %-ным раствором глутарового альдегида в течение 30 мин и 13 %-ным раствором аминоксусной кислоты в течение 30 мин. Обработка древесных опилок раствором хитозана в уксусной кислоте, раствором глутарового альдегида и раствором аминоксусной кислоты осуществляется при молярном соотношении опилки:хитозан:глутаровый альдегид:аминоксусная кислота, равном 1:0,3:0,2:0,05. Хитозан

при получении сорбента выполняет роль связующего. Глутаровый альдегид используется в качестве сшивающего агента для хитозана. Аминоксусная кислота применяется для нейтрализации раствора соляной кислоты и непрореагировавших молекул глутарового альдегида, а также прививки к полисахаридам функциональных аминогрупп, что увеличивает ионообменную емкость адсорбента. Полученную массу влажностью 35 % формуют на шнековом пресс-грануляторе 6 в гранулы, которые затем сушат в ленточной сушилке 7 при температуре 95 °С до влажности 4 %.

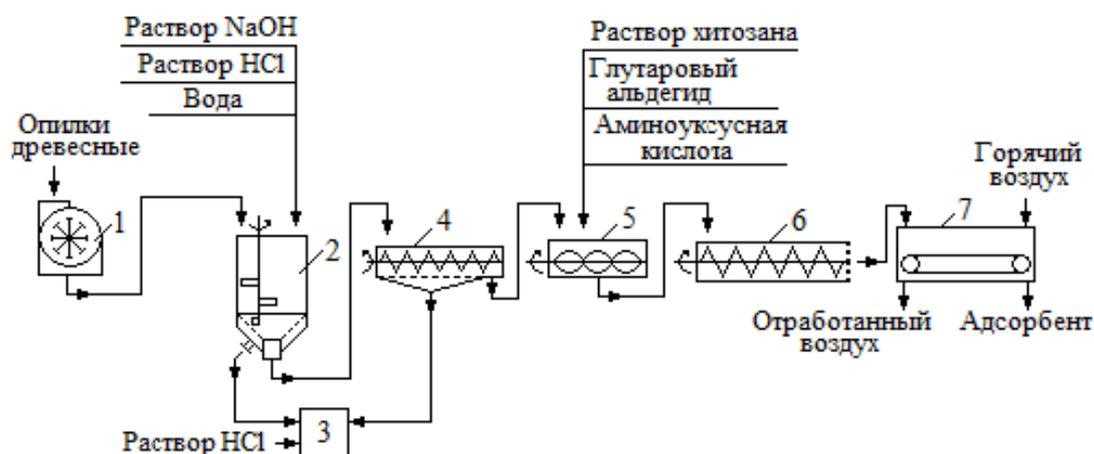


Рис. 1. Принципиальная схема получения адсорбента: 1 – молотковая дробилка; 2 – емкостной аппарат с мешалкой; 3 – емкость, 4 – шнековый пресс-сепаратор; 5 – горизонтальный лопастной смеситель; 6 – шнековый пресс-гранулятор; 7 – ленточная сушилка

В соответствии с разработанной технологией были получены в лабораторных условиях гранулы сорбента со средним диаметром частиц 1,6 мм. Для опытов использовали сорбент в Na-форме. Для этого его последовательно обрабатывали в течение 1 часа раствором гидроксида натрия с концентрацией 0,08 кг-экв/м³ и отмывали дистиллированной водой до нейтральной реакции. Сорбционные свойства сорбента исследовали в динамических условиях на ионообменной установке, схема которой представлена на рис. 2.

Основным элементом установки является стеклянная колонка 1 с внутренним диаметром 16 мм и высотой 250 мм. В нижней части колонки 1 расположен фильтр 2 типа ФКП ПОР 250 ХС, устойчивый к действию кислот и щелочей, не пропускающий зерна ионита размером более 0,25 мм и обладающий малым сопротивлением фильтрации. Колонку соединяют с перистальтическим насосом 7 резиновой трубкой. Насос 7 соединен с емкостью для исходного раствора 6 резиновой трубкой. Нижняя часть колонки 1 соединена с мерным ци-

линдром 8 резиновой трубкой, имеющей кран 5 для спуска раствора из колонки 1.

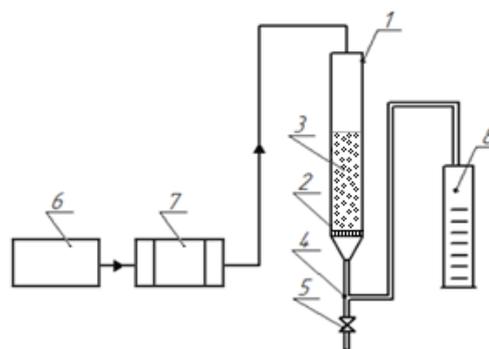


Рис. 2. Ионообменная установка для определения динамической обменной емкости катионита: 1 – стеклянная колонка, 2 – фильтр типа ФКП ПОР 250 ХС; 3 – катионит; 4 – трубка; 5 – кран для спуска раствора из колонки; 6 – емкость для рабочего раствора; 7 – перистальтический насос; 8 – мерный цилиндр

Методика проведения эксперимента состояла в пропускании через слой катионита исходного раствора и снятии выходных кривых ионного обмена. Для этого через определенные промежутки времени проводили отбор проб фильтрата по 10 мл, в которые определяли концентрацию сорбируемого (десорбируемого) из катионита вещества. Опыт заканчивали тогда, когда содержание сорбируемого (десорбируемого) иона в фильтрате становилось равным его концентрации в исходном растворе [10].

Анализ выходных кривых ионного обмена проводили по относительной скорости процесса, которую вычисляли по формуле [11]:

$$E_{от} = \frac{V_0}{V_{пр}} 100\%, \quad (1)$$

где V_0 – объем фильтрата до полного насыщения ионита поглощаемым ионом, m^3 ; $V_{пр}$ – объем фильтрата до проскока, m^3 .

Полную динамическую обменную емкость E_0 и рабочую динамическую обменную емкость $E_{пр}$ сорбента рассчитывали по формулам:

$$E_0 = \frac{C_{вх}V_0 - \sum V_n C_n}{\bar{V}}, \text{ кг-экв/м}^3; \quad (2)$$

$$E_{пр} = \frac{C_{вх}V_{пр}}{\bar{V}}, \text{ кг-экв/м}^3, \quad (3)$$

где $C_{вх}$ – концентрация исходного раствора, $кг-экв/м^3$; C_n – концентрация раствора в порциях фильтрата после появления ионов исходного раствора (проскока), $кг-экв/м^3$; V_n – объем порций фильтрата после появления ионов исходного раствора (проскока), m^3 ; \bar{V} – объем сорбента, m^3 .

Удельную нагрузку по раствору рассчитывали по формуле:

$$q = \frac{Q}{\bar{V}}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{с}), \quad (4)$$

где Q – объемный расход раствора, $m^3/с$.

Опыты по регенерации сорбента от ионов тяжелых металлов практически не отличались от опытов при изучении ионообменной сорбции.

Степень регенерации сорбента находили по формуле:

$$\eta_{рег} = \frac{E_B}{E_0} 100, \%, \quad (5)$$

где $E_B = S/\bar{V}$ – восстановленная обменная емкость сорбента, $кг-экв/м^3$; S – площадь под выходной кривой регенерации сорбента, $кг-экв$; значение S находили графическим способом.

Удельный расход регенеранта определяли по формуле:

$$\lambda = \frac{C_{вх.рег} Q \tau}{\bar{C}_p \bar{V}}, \text{ экв/экв}, \quad (6)$$

где $C_{вх.рег}$ – концентрация регенерационного раствора, $кг-экв/м^3$; \bar{C}_p – равновесная концентрация сорбируемого вещества в сорбенте, $кг-экв/м^3$; τ – время, $с$.

Во всех опытах навеска сорбента в колонке составляла 3 г. При изучении обмена $Cu^{2+}-Na^+$ и $Zn^{2+}-Na^+$ начальная концентрация водных растворов сульфатов металла изменялась в интервале от 0,005 до 0,1 $кг-экв/м^3$, а объемный расход раствора составлял $5 \cdot 10^{-8} m^3/с$. При изучении обмена Na^+-Cu^{2+} и Na^+-Zn^{2+} использовался раствор гидроксида натрия с концентрацией 0,08 $кг-экв/м^3$, а объемный расход раствора составлял $2 \cdot 10^{-8} m^3/с$. Перед началом опытов по регенерации сорбента его насыщали ионами тяжелых металлов путем пропускания через ионообменную колонку соответствующих растворов с концентрацией 0,05 $кг-экв/м^3$ и затем отмывали сорбент дистиллированной водой.

Результаты экспериментальных исследований процессов ионообменной адсорбции ионов Cu^{2+} и Zn^{2+} на сорбенте в динамическом режиме приведены на рис. 3, 4 и в таблице.

Из анализа выходных кривых, показанных на рис. 3, 4 и данных, представленных в таблице, можно сделать вывод о том, что динамические параметры ионообменной сорбции ионов меди и цинка на природном сорбенте зависят от концентрации раствора. Например, наибольшее значение полной динамической обменной емкости (E_0) по ионам меди, равное 0,207 $кг-экв/м^3$, достигается при концентрации исходного раствора 0,05 $кг-экв/м^3$. С уменьшением концентрации раствора до 0,005 $кг-экв/м^3$ значение E_0 сорбента уменьшается до значения 0,11 $кг-экв/м^3$. Установлено, что рабочая динамическая обменная емкость меньше полной обменной емкости на 30–53 %, что необходимо учитывать при расчете ионообменного процесса в аппарате с неподвижным слоем ионита. Снижение величины относительной скорости ионного обмена $E_{от}$ от 28,6 до 17 % при увеличении концентрации исходного раствора сульфата меди от 0,005 до 0,05 $кг-экв/м^3$ показывает, что на скорость процесса существенно влияют кинетические свойства катионита. Из сравнения полученного сорбента с аналогами можно сделать вывод о том, что по своим сорбционным характеристикам он не уступает, а в ряде случаев и превосходит известные природные сорбенты [6, 7].

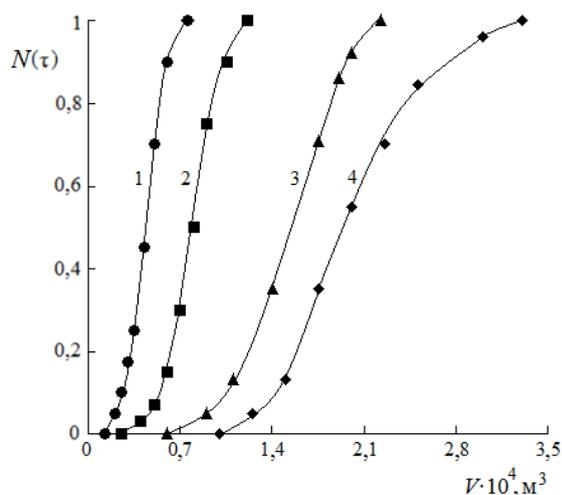


Рис. 3. Выходные кривые ионообменной адсорбции ионов Cu^{2+} на сорбенте: $q = 4,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; $C_{\text{вх}}$, кг-экв/ м^3 : 1 – 0,05; 2 – 0,025; 3 – 0,01; 4 – 0,005

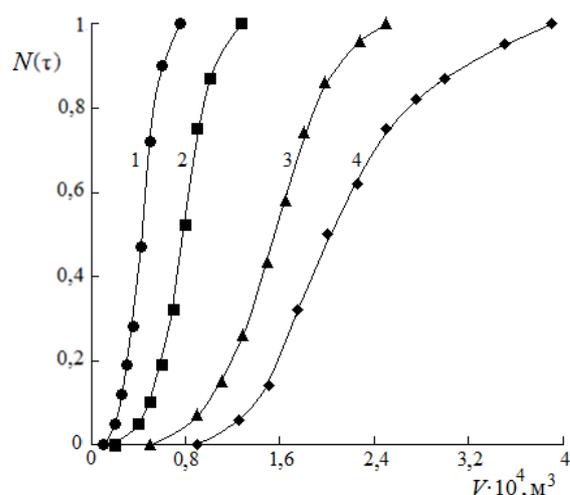


Рис. 4. Выходные кривые ионообменной адсорбции ионов Zn^{2+} на сорбенте: $q = 4,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; $C_{\text{вх}}$, кг-экв/ м^3 : 1 – 0,05; 2 – 0,025; 3 – 0,01; 4 – 0,005

Таблица. Ионообменная сорбция ионов тяжелых металлов на сорбенте в динамических условиях

Параметр	Входная концентрация раствора $C_{\text{вх}}$, кг-экв/ м^3			
	0,05	0,025	0,01	0,005
Ионный обмен $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$				
E_0 , кг-экв/ м^3	0,207	0,18	0,14	0,11
$E_{\text{пр}}$, кг-экв/ м^3	0,060	0,058	0,055	0,049
$T_{\text{пр}}$, с	260	495	1190	2100
$E_{\text{от}}$, %	17	20,5	25	28,6
Ионный обмен $\text{Zn}^{2+} - \text{Na}^+$				
E_0 , кг-экв/ м^3	0,192	0,17	0,13	0,1
$E_{\text{пр}}$, кг-экв/ м^3	0,05	0,047	0,043	0,037
$T_{\text{пр}}$, с	200	400	1050	1800
$E_{\text{от}}$, %	15	18	22	24,6

Результаты исследования процесса регенерации сорбента от ионов меди и цинка показаны на рис. 5.

Установлено, что сорбент не полностью восстанавливает свою обменную емкость. Степень регенерации сорбента от ионов Cu^{2+} составляет 81 %, а от ионов Zn^{2+} – 79 %. При этом в обоих случаях удельный расход регенеранта λ был достаточно высоким и составлял 25 экв/экв. С целью повышения эффективности процесса регенерации сорбента целесообразно использовать следующие рекомендации: 1) рациональное сочетание статического и динамического режимом, при котором сначала сорбент выдерживают опреде-

ленное время в неподвижном регенерационном растворе, а затем проводят фильтрацию регенеранта через слой сорбента; 2) повторное использование отработанного регенерационного раствора. При этом первый объем регенерационного раствора, соответствующий стехиометрическому расходу реагента, выводится из процесса на утилизацию, а последующие объемы (обычно 1–4 объема) находятся в рециркуляции; 3) восстановление обменной емкости ионита не более чем на 75 – 80 %; 4) противоточная регенерация неподвижного слоя ионита, когда регенерационный раствор и очищаемая вода движутся в противоположных направлениях.

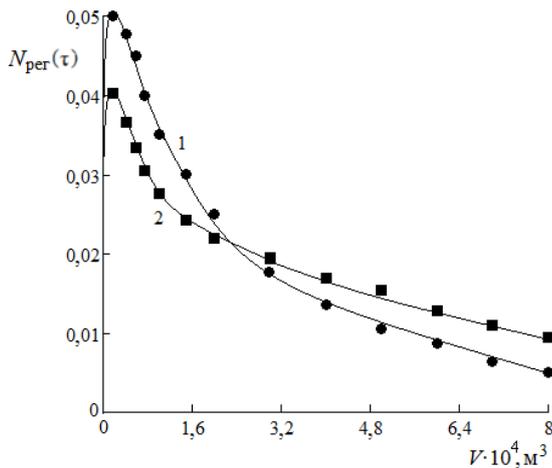


Рис. 5. Выходные кривые ионообменной регенерации сорбента от ионов Cu^{2+} (1) и Zn^{2+} (2)

Список литературы

1. Основы военной гигиены: учеб. пособие / В. И. Дорошевич [и др.]. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. 190 с.
2. Учебно-методическое пособие по повышению квалификации руководителей организаций по вопросам ГО, защиты от ЧС, пожарной безопасности и безопасности на водных объектах в УЦ ФПС МЧС России. М.: ДГЗ МЧС России, 2007. 753 с.
3. Гражданская защита: Энциклопедия в 4 томах. Том I (А–И) / Под общей редакцией В. А. Пучкова; МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 666 с.
4. Мельниченко П. И., Огарков П. И., Лизунов Ю. В. Военная гигиена и военная эпидемиология: Учебник. М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. 343 с.
5. Иониты в химической технологии / Отв. ред. Б. П. Никольский и П. Г. Романков. Л.: Химия, 1982. 416 с.
6. Иканина Е. В., Макаров В. Ф., Каляева М. И. Композиционные сорбенты для извлечения тяжелых металлов: итоги последних лет // Бултеровские сообщения. 2016. Т. 48. № 11. С. 101–113.
7. Денисова Т. Р., Шайхиев И. Г. Использование компонентов лиственных деревьев средней полосы России в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. Обзор литературы // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 24. С. 145–158.
8. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение / Под ред. К. Г. Скрыбина. М.: Наука, 2002. 368 с.

Таким образом, по разработанной технологии получен из древесных опилок и хитозана сорбент, отвечающего определенным потребительским свойствам: имеет форму гранул, обладает хорошей динамической обменной емкостью по отношению к ионам тяжелых металлов и может быть регенерирован с целью повторного его применения для очистки воды. На основании проведенных исследований можно рекомендовать данный сорбент в системах водоочистки при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

9. Wan Ngah W. S., Fatinathan S. Adsorption characterization of Pb (II) and Cu (II) ions onto chitosan-tripolyphosphate beads: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. Journal of environmental management, 2010, vol. 91, issue 4, pp. 958–969.
10. Полянский Н. Г., Горбунов Г. В. Методы исследования ионитов. М.: Химия, 1976. 208 с.
11. Практикум по ионному обмену: Учебное пособие / В. Ф. Селеменов, Г. В. Славинская, В. Ю. Хохлов [и др.]. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. 160 с.

References

1. *Osnovy voennoj gigiena: uchebnoe posobie* [Fundamentals of military hygiene: a training manual] / V. I. Doroshevich [et al.]. Minsk: Novoe znanie; Moscow: INFRA-M, 2014, 190 p.
2. *Uchebno-metodicheskoe posobie po povysheniyu kvalifikacii rukovoditelej organizacij po voprosam GO, zashchity ot CHS, pozharnoj bezopasnosti i bezopasnosti na vodnyh ob»ektah v UC FPS MCHS Rossii* [Training manual for advanced training of heads of organizations on civil defense, emergency protection, fire safety and water safety at the CC FPS EMERCOM of Russia]. M.: DGZ MCHS Rossii, 2007, 753 p.
3. *Grazhdanskaya zashhita: v 4 t. T. 1* [Civil protection: in 4 vol. Vol. 1]. / Pod obshchey redaktsiyey Puchkova V. A. (ed.). M.: FGBU VNII GOChS (FCz), 2015, 666 p.
4. Melnichenko P. I., Ogarkov P. I., Lizunov Yu. V. *Voyennaya gigiyena i voyennaya epidemiologiya: Uchebnik* [Military hygiene and military Epidemiology: Textbook]. M.: ОАО «Izdatelstvo «Meditsina», 2005, 343 p.

5. *Ionity v khimicheskoy tekhnologii* [Ionites in chemical technology] / *Otv. red. B. P. Nikolskiy i P. G. Romankov*. L.: Khimiya, 1982, 416 p.

6. Ikanina Ye. V., Makarov V. F., Kalayayev M. I. *Kompozitsionnyye sorbenty dlya izvlecheniya tyazhelykh metallov: itogi poslednikh let* [Composite sorbents for the extraction of heavy metals: the results of recent years] / *Butlerovskiye soobshcheniya*, 2016, vol. 48, issue 11, pp. 101–113.

7. Denisova T. R., Shaykhiyev I. G. *Ispol'zovaniye komponentov listvennykh derevyev sredney polosy Rossii v kachestve sorbtionnykh materialov dlya oчитki vodnykh sred ot zagryaznyayushchikh veshchestv. Literaturnyy obzor* [The use of components of deciduous trees in central Russia as sorption materials for the removal of pollutants from aquatic environments. Literature review]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, vol. 20, issue 24, pp. 145–158.

8. *Khitin i khitozan: Polucheniye, svoystva i primeneniye* [Chitin and chitosan: Preparation, properties and application] / *Pod red. K. G. Skryabina*. M.: Nauka, 2002, 368 p.

9. Wan Ngah W. S., Fatinathan S. *Adsorption characterization of Pb (II) and Cu (II) ions onto chitosan-tripolyphosphate beads: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies*. *Journal of environmental management*, 2010, vol. 91, issue 4, pp. 958–969.

10. Polyanskiy N. G., Gorbunov G. V. *Metody issledovaniya ionitov* [Methods of research of ionites]. M.: Khimiya, 1976, 208 p.

11. *Praktikum po ionnomu obmenu: Uchebnoye posobiye* [Workshop on ion exchange: Textbook] / V. F. Selemenev, G. V. Slavinskaya, V. Yu. Khokhlov [et al.]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2004. 160 p.

Натареев Сергей Валентинович

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Российская Федерация, г. Иваново,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, профессор.

E-mail: natoret@mail.ru.

Natareev Sergej Valentinovich

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,

Russian Federation, Ivanovo,

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Technical Sciences, Professor.

E-mail: natoret@mail.ru.

Захаров Дмитрий Евгеньевич,

АО «Выксунский металлургический завод»,

Российская Федерация, Нижегородская обл., г. Выкса,

технолог.

E-mail: dimazah16@ya.ru.

Zakharov Dmitriy Evgenevich,

Vyкса Steel Works

Russian Federation, Vyкса,

technologist.

E-mail: dimazah16@ya.ru

Семенов Андрей Юрьевич,

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Российская Федерация, г. Иваново

студент

E-mail: andrejsemenov.2442@gmail.com.

Semenov Andrey Yurievich,

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,

Russian Federation, Ivanovo

student

E-mail: andrejsemenov.2442@gmail.com

Аксюкова Наталия Юрьевна,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Старший преподаватель

E-mail: muks-golkipер@mail.ru

Aksyukova Natalia Yurievna,

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: muks-golkipер@mail.ru

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

УДК 669.1:66.018.8:66.018.8

**КОРРОЗИЯ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ ПОВЫШЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, В. С. КОНОВАЛОВА², А. В. ОСЫКО², А. В. ШЕНБЕРЕВА³

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

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

³ ООО «Мераком»,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, mechanic4991@gmail.com, sshenbereva@gmail.com

Температура оказывает значительное влияние на развитие коррозионного процесса на поверхности металлов и сплавов. Изучено коррозионное поведение железоуглеродистых сплавов в 0,1 н растворе серной кислоты при различных температурах. Определены показатели скорости коррозии для исследуемой системы «железоуглеродистый сплав – 0,1 н раствор серной кислоты» при различных температурах. Установлено, что при повышении температуры на 10 °С скорость анодного растворения железоуглеродистого сплава увеличивается в среднем в 2,3 раза. Определенные экспериментально значения энергии активации коррозионного процесса для исследуемых железоуглеродистых сплавов показывают, что процессы коррозии в растворе серной кислоты протекают по электрохимическому механизму. Установлено, что с увеличением содержания углеродной фазы в сплаве повышается энергия активации процесса коррозии, значит, коррозионные процессы на поверхности сплава начинают развиваться позднее. После начала коррозии при воздействии агрессивной среды растворение поверхности сплавов, содержащих большее количество углерода в составе, протекает быстрее. Большие потери массы железоуглеродистых сплавов с высоким содержанием углерода вызваны присутствием на их поверхности большого количества гальванических пар «железо – углерод».

Ключевые слова: кислотная коррозия, коррозия стали, скорость коррозии, влияние температуры, энергия активации.

**CORROSION OF STEEL STRUCTURAL ELEMENTS
WITH INCREASING TEMPERATURE**

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, V. S. KONOVALOVA², A. V. OSYKO², A. V. SHENBEREVA³

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

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

³ ООО «Merakom»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, mechanic4991@gmail.com, sshenbereva@gmail.com

Temperature has a significant impact on the development of the corrosion process on the surface of metals and alloys. The corrosion behavior of iron-carbon alloys in 0.1 N sulfuric acid solution at various temperatures has been studied. The corrosion rate indicators for the investigated system «iron-carbon alloy – 0.1 N sulfuric acid solution» at various temperatures were determined. It was found that with an increase in

temperature by 10 °C, the rate of anodic dissolution of an iron-carbon alloy increases by an average of 2.3 times. The experimentally determined values of the activation energy of the corrosion process for the studied iron-carbon alloys show that the corrosion processes in the sulfuric acid solution proceed by an electrochemical mechanism. It is established that with an increase of the carbon phase content in the alloy, the activation energy of the corrosion process increases, which means that corrosion processes on the alloy surface begin to develop later. After the onset of corrosion under the influence of an aggressive environment, the dissolution of the surface of alloys containing a larger amount of carbon in the composition proceeds faster. Large mass losses of iron-carbon alloys with a high carbon content are caused by the presence on their surface of a large number of galvanic pairs «iron – carbon».

Key words: acidic corrosion, steel corrosion, corrosion rate, temperature influence, energy of activation.

Введение

На скорость развития коррозии металлов и сплавов оказывает значительное влияние множество факторов, в частности состав сплава [1–7] и агрессивной среды [8–10], условия и срок эксплуатации [11–14, 21, 22], степень агрессивности среды [12–17], наличие защитной обработки [18–20]. Изменение температуры играет важную роль в протекании коррозионных процессов металлических изделий, оборудования и конструкций, поскольку оно влияет на скорость всех химических реакций [23, 24].

Два ключевых аспекта, которые характеризуют поведение материалов в условиях высокотемпературной коррозии, состоят, с одной стороны, в термодинамической оценке, предоставляющей информацию о потенциальных фазах, образующихся в результате коррозионной реакции, и в кинетическом режиме, который указывает скорость, с которой образуются эти фазы, что дает информацию о степени повреждения металлических сплавов [25, 26]. Данные о скорости развития и протекания коррозионных процессов на поверхности металлов и сплавов в различных условиях эксплуатации дают возможность сделать заключение о необходимости обеспечения дополнительной защиты от воздействия на них агрессивных сред, поскольку именно кинетика процессов разрушения металла определяет стойкость материала [27].

Известны исследования, посвященные изучению явления высокотемпературной коррозии металлов и сплавов, которое состоит из ряда различных механизмов, иногда со сложными взаимодействиями [28–31], установлению причин и факторов возникновения и развития коррозионного разрушения металлов под воздействием сред различной степени агрессивности [32, 33], разработке и улучшению инструментов для оценки стойкости материалов на основе соответствующих механизмов коррозии и термодинамических соображений, позволяющие разграничивать критические и менее критические ситуации [34, 35].

Значимость исследований коррозии определяется тремя аспектами: экономическими затратами, повышением срока службы оборудования и конструкций, сохранностью металлического фонда. Исследования высокотемпературной коррозии, несмотря на все бесценные достижения в прошлом, далеки от статичной ситуации. Поэтому изучение причин и разработка новых способов предотвращения коррозионного повреждения необходимы для снижения стоимости восстановления и ремонта металлических изделий и конструкций, а также для обеспечения долговечности и надежности их работы в различных условиях.

Коррозия металлов и сплавов в жидких средах в основном протекает по электрохимическому механизму [22, 36]. Электрохимическая коррозия начинается из-за возникновения на поверхности металла или сплава большого количества гальванических микропар при контакте с электролитом. В этом случае металл растворяется на анодных участках поверхности, и скорость растворения увеличивается в присутствии посторонних включений и загрязнений [22, 37].

Температура оказывает значительное влияние на скорость электрохимической коррозии металлов, поскольку она изменяет скорость диффузии агрессивных веществ к поверхности металла, перенапряжение электродных процессов и растворимость продуктов коррозии [38].

Температурная зависимость скорости коррозии железоуглеродистых сплавов в минеральных кислотах выражается экспоненциальным законом [39]:

$$K_m^- = A e^{\frac{Q}{RT}}, \quad (1)$$

где: K_m^- – показатель изменения массы образца, г/(м²·ч); A – постоянная, равная K_m^- при $T=\infty$ или $1/T=0$; Q – эффективная энергия активации процесса коррозии, кал/моль; R – газовая постоянная (1,99 кал/(град·моль)); T – температура, °К.

В координатах $\lg K_m^- - 1/T$ выражение (1) преобразуется в уравнение прямой:

$$\lg K_m^- = \lg A - \frac{Q}{2.303RT} \quad (2)$$

Выражение (2) используется для определения значений K_m^- при любых температурах графическим способом.

Неравномерность распределения температуры на различных участках поверхности металла приводит к появлению термогальванических коррозионных элементов, в которых более нагретые части обычно являются анодом, где коррозия протекает наиболее интенсивно [40].

Поэтому важно выявлять причины возникновения коррозии металлов и сплавов, изучать факторы, значительно влияющие на ускорение коррозионных процессов, и разрабатывать меры предотвращения коррозионного разрушения, для чего необходимо проводить глубокие исследования механизмов коррозионных процессов.

Материалы и методы

Для проведения исследования степени влияния повышения температуры на скорость коррозии изготовлены образцы из представленных в табл. 1 железоуглеродистых сплавов.

Таблица 1. Исследуемые марки железоуглеродистых сплавов

Марка сплава	Содержание углерода, %
Сталь 0,8кп	0.08
Сталь 10	0.1
Сталь 20	0.2
Ст3	0.14-0.22
Сталь 45	0.45
У7	0.7
СЧ-20	3.3-3.5

Перед проведением эксперимента образцы были зачищены наждачной бумагой, обезжирены в горячем содово-щелочном растворе, затем обработаны спиртовым раствором и взвешены на аналитических весах.

Для проведения исследований 3 образца сплава одной марки помещались в сосуд, наполненный 0,1 н раствором серной кислоты (рис. 1), где выдерживались при постоянной температуре в течение 2 часов. Эксперимент проводился при температурах 20, 35, 45, 55 и 65°C.

После завершения испытания и извлечения из сосуда образец промывался дистиллированной водой, протирался фильтровальной бумагой и взвешивался на аналитических весах для определения изменения массы. Вычисление показателей скорости коррозии проводилось по средним значениям изменений массы образцов при определенной температуре по формулам:

$$K_m^- = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} \quad (3)$$

$$K_n = K_m^- \cdot \frac{8.76}{\rho_{Me}} \quad (4)$$

где: K_m^- – показатель изменения массы образцов, г/(м²·ч); Δm – изменение массы образцов, г; S – площадь поверхности образцов, м²; τ – время коррозии, ч; K_n – глубинный показатель коррозии, мм/год; ρ_{Me} – плотность металла, г/см³.

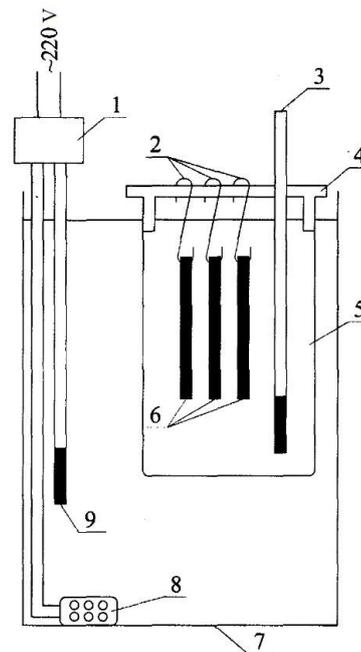


Рис. 1. Схема установки для исследования кислотной коррозии металлов при стандартных условиях: 1 – электронное реле; 2 – стеклянные крючки для подвешивания образцов; 3 – термометр; 4 – планка; 5 – стеклянный сосуд с электролитом (0,1 н раствор H₂SO₄); 6 – испытываемые образцы; 7 – водяной термостат; 8 – электрический нагреватель; 9 – контактный термометр

Результаты и обсуждение

Результаты расчета значений показателя изменения массы образцов из железоуглеродистых сплавов при разных температурах представлены на рис. 2, а значений глубинного показателя коррозии – на рис. 3. Экспериментальные данные показывают, что с повышением температуры происходит ускорение коррозионного разрушения поверхности железоуглеродистых сплавов. Очевидно, что с повышением содержания углерода в составе сплава растворение металла происходит интенсивнее. Однако, изменения массы образцов из серого чугуна марки СЧ-20, в котором содержание углерода наибольшее из представленных сплавов, не является максимальным по сравнению с другими марками железоуглеродистых сплавов, как следовало бы ожидать. Это несоответствие может быть вызвано отличиями в структуре и фазовом составе чугуна и сталей [41, 42].

При стандартных условиях стали с содержанием углерода от 0,08 до 0,1 % корродируют с примерно одинаковой скоростью, показатель изменения массы находится в диапазоне 0,74–0,81 г/м²ч. Сталь марки Ст3 корро-

дирует в 2,5 раза быстрее, чем Сталь 0,8кп. Сталь марки Сталь 45 корродирует в 2,3 раза быстрее, а сталь марки У7 – в 3 раза быстрее, чем сталь марки Ст3.

При повышении температуры до 65°C растворение стали марки Ст3 происходит в 14 раз быстрее по сравнению со сталью марки Сталь 0,8кп, в 5 раз быстрее по сравнению со сталями марок Сталь 10 и Сталь 20, а сталь У7 корродирует в 3,4 раза быстрее, чем сталь Ст3. При 65°C стали марок Ст3 и Сталь 45 корродируют с примерно одинаковой скоростью.

В табл. 2 указано, во сколько раз увеличивается скорость коррозии железоуглеродистых сплавов в 0,1 н растворе H₂SO₄ при повышении температуры по сравнению со значением, полученным при 20°C.

В табл. 3 показано во сколько раз в среднем меняется скорость коррозии исследуемых железоуглеродистых сплавов в 0,1 н растворе H₂SO₄ при изменении температуры на 10°C, то есть значения температурных коэффициентов химической реакции.

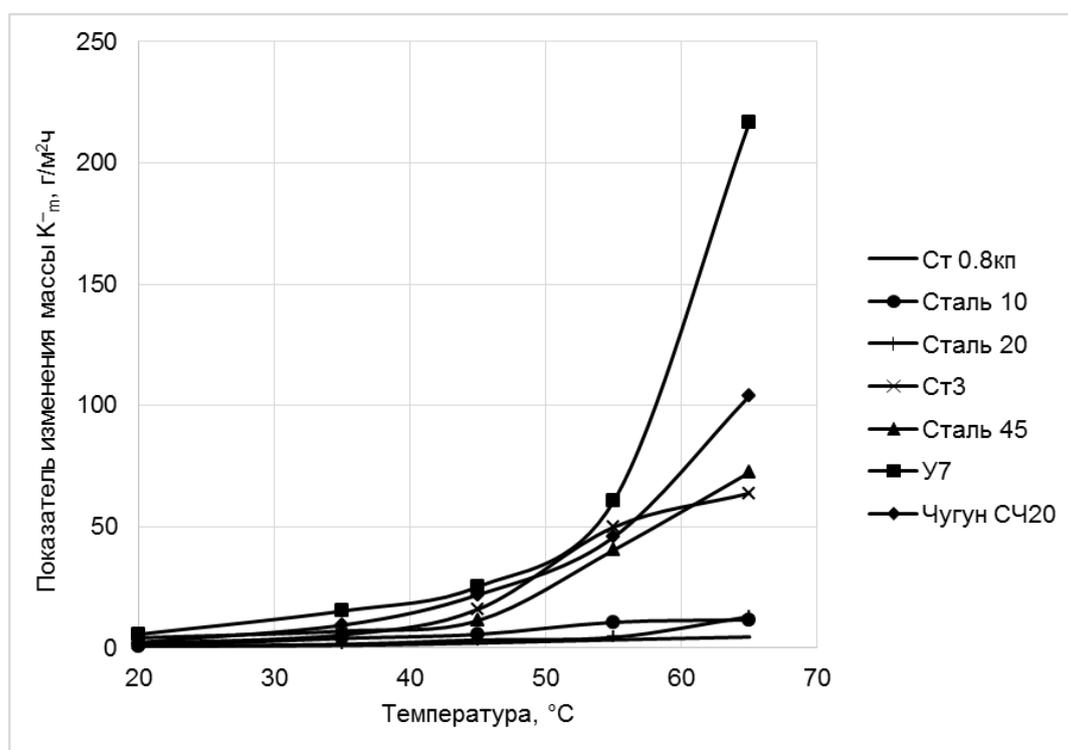


Рис. 2. Изменение отрицательного показателя изменения массы образцов из железоуглеродистых сплавов при коррозии в 0,1 н растворе H₂SO₄ при повышении температуры

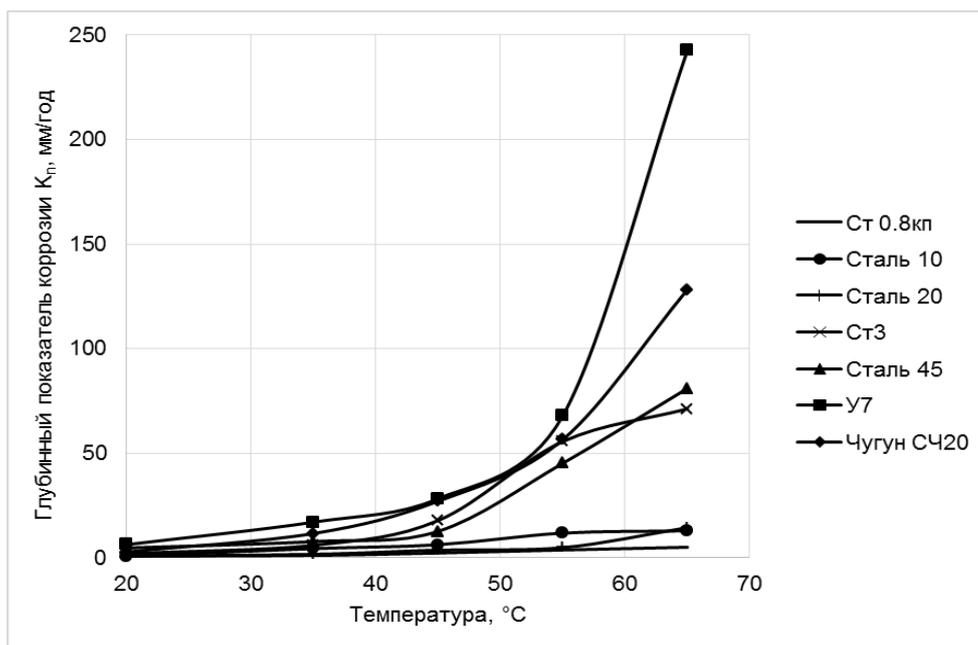


Рис. 3. Изменение глубинного показателя при коррозии в 0,1 н растворе H_2SO_4 образцов из железоуглеродистых сплавов при повышении температуры

Таблица 2. Сравнение изменения скорости коррозии железоуглеродистых сплавов в 0,1 н растворе H_2SO_4 при повышении температуры относительно 20 °С.

Марка сплава	Температура, °С				
	20	35	45	55	65
Сталь 0,8кп	-	1,5	2,9	4,6	6,2
Сталь 10	-	4,9	4,5	6	17,4
Сталь 20	-	2,1	9	27	35
Ст3	-	3	9	27	35
Сталь 45	-	1,7	2,7	9,6	17,1
У7	-	2,7	4,5	10,7	38,2
СЧ-20	-	4	9,5	19,8	44,8

Таблица 3. Среднее изменение скорости коррозии железоуглеродистых сплавов в 0,1 н растворе H_2SO_4 при изменении температуры на 10 °С.

Марка сплава	Температурный коэффициент
Сталь 0,8кп	1,6
Сталь 10	2,3
Сталь 20	2,1
Ст3	2,5
Сталь 45	2,2
У7	2,65
СЧ-20	2,7

Значения глубинного показателя коррозии (рис. 3) свидетельствуют о том, что при стандартных условиях стали марок Ст3, Сталь 10, Сталь 20, Сталь 45 и У7 являются пониженно стойкими к воздействию агрессивных сред, Сталь 08кп – мало стойкой, чугун марки СЧ-20 является мало стойким к воздействию агрессивных сред. При повышенных температурах стали марок Сталь 0,8кп, Сталь 10, Сталь 20, Ст3, являются мало стойкими к воздействию агрессивных сред. Стали марок Сталь 45 и У7, а также чугун являются нестойкими к кислотной коррозии при повышенных температурах [43, 44].

В табл. 4 представлены рассчитанные значения энергии активации Q процесса коррозии исследуемых железоуглеродистых сплавов в 0,1 н растворе серной кислоты. Получен-

ные результаты показывают, что эффективная энергия активации коррозионных процессов

повышается с увеличением содержания углерода в составе сплава.

Таблица 4. Значения эффективной энергии активации Q процесса коррозии для исследуемой системы «железоуглеродистый сплав – 0,1 н раствор серной кислоты»

Марка сплава	Содержание углерода, %	Q , кДж/моль
Сталь 0,8кп	0.08	37.85
Сталь 10	0.1	49.42
Сталь 20	0.2	50.41
Ст3	0.14-0.22	70.37
Сталь 45	0.45	54.5
У7	0.7	64.17
СЧ-20	3.3-3.5	69.63

Установленные значения эффективной энергии активации процесса коррозии для исследуемой системы «железоуглеродистый сплав – 0,1 н раствор H_2SO_4 » находятся в интервале 37,7–87,9 кДж/моль и свидетельствуют об электрохимической природе коррозионных процессов, протекающих на поверхности железоуглеродистых сплавов в жидкой кислой среде [45, 46]. Электрохимическое растворение металла на поверхности обусловлено возникновением гальванической пары «железо – углерод», и чем больше возникает таких пар, тем быстрее протекают коррозионные процессы в железоуглеродистом сплаве [47].

Заключение

При изучении степени влияния температуры на скорость кислотной коррозии железоуглеродистых сплавов установлено, что при повышении температуры происходит усиление развития коррозионных процессов и ускорение растворения металла. В железоуглеродистых сплавах с высоким содержанием углерода коррозия протекает быстрее. В среднем при повышении температуры на $10^\circ C$ скорость

коррозии железоуглеродистых сплавов увеличивается в 2,3 раза.

Чем выше значение энергии активации, тем больше времени требуется для активации процесса коррозии на поверхности металла и сплава. Однако, поскольку высоким значением энергии активации соответствуют высокие значения содержания углерода в железоуглеродистом сплаве, после начала коррозии растворение металла с поверхности происходит интенсивнее. Это связано с тем, что с увеличением содержания углерода образуется большее число микрогальванических пар «железо – углерод» на поверхности сплава. Таким образом, с увеличением содержания углерода в железоуглеродистом сплаве снижается его коррозионная стойкость.

Повышение температуры способствует увеличению количества активных центров коррозии на поверхности металла и ускорению развития коррозионных процессов, поэтому необходимо предусматривать защиту металлических изделий, оборудования и конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенных температур или подвергаемых температурному воздействию.

Список литературы

- Herrasti P., Ponce De León C. and Walsh F. C. The corrosion behaviour of nanograined metals and alloys. *Revista de metalurgia*, 2012, vol. 48, issue 5, pp. 377–394. <https://doi.org/10.3989/REVMETALM.1243>
- Królikowski A. Corrosion behaviour of amorphous and nanocrystalline alloys. *Solid State Phenomena*, 2015, vol. 227, pp. 11–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.227.11>
- Qian Y. H., Niu D., Xu J. J. and Li M. S. The influence of chromium content on the elec-

trochemical behavior of weathering steels. *Corrosion Science*, 2013, vol. 71, pp. 72–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2013.03.002>

- Pražák M. and Barton K. The influence of alloying elements on the corrosion behaviour of single-phase alloys. *Corrosion Science*, 1965, vol. 5, issue 5, pp. 377–382. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(65\)2865-2990540-8](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(65)2865-2990540-8)

- Ambat R., Davenport A. J., Scamans G. M. and Afseth A. Effect of iron-containing intermetallic particles on the corrosion behaviour of aluminium. *Corrosion Science*, 2006, vol. 48, issue 11, pp. 3455–3471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2006.01.005>

6. McCuen R. H. and Albrecht P. Effect of alloy composition on atmospheric corrosion of weathering steel. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2005, vol. 17, issue 2, p. 117. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2005\)17:2\(117\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(117))
7. Ward L. P., Chen D. and O'Mullane A. P. The electrochemical corrosion behaviour of quaternary gold alloys when exposed to 3.5 % NaCl solution. *Gold Bulletin*, 2013, vol. 46, pp. 35–45. <https://doi.org/10.1007/s13404-012-0079-0>
8. Wasim M., Shoaib S., Mubarak N. M., Inamuddin and Asiri A. M. Factors influencing corrosion of metal pipes in soils. *Environmental Chemistry Letters*, 2018, vol. 16, pp. 861–879. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0731-x>
9. Wang S., Yin X., Zhang H., Liu D. and Du N. Coupling effects of pH and dissolved oxygen on the corrosion behavior and mechanism of x80 steel in acidic soil simulated solution. *Materials*, 2019, vol. 12, issue 19, p. 3175. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12193175>
10. Mazhar A. A., Arab S. T. and Noor E. A. The role of chloride ions and pH in the corrosion and pitting of Al-Si alloys. *Journal of Applied Electrochemistry*, 2001, vol. 31, issue 10, pp. 1131–1140. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012039804089>
11. Papavinasam S. *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*. Gulf Professional Publishing, London, Great Britain, 2014. 992 p. <https://doi.org/10.1016/c2011-0-04629-x>
12. Ma H., Cheng X., Li G., Chen S., Quan Z., Zhao S. and Niu L. The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions. *Corrosion Science*, 2000, vol. 42, issue 10, pp. 1669–1683. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(00\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(00)00003-2)
13. Wang W., Lu D., Li X. and Liang L. Risk Assessment and Material Suitability Evaluation on Static Equipment of Hydrofluoric Acid Alkylation Unit. *Processes*, 2021, vol. 9, issue 8, p. 1464. <https://doi.org/10.3390/pr9081464>
14. Afanasyev A. V., Mel'nikov A. A., Konovalov S. V. and Vaskov M. I. The Analysis of the Influence of Various Factors on the Development of Stress Corrosion Defects in the Main Gas Pipeline Walls in the Conditions of the European Part of the Russian Federation. *International Journal of Corrosion*, 2018, vol. 2018, article no. 1258379. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/1258379>
15. Kutyrev A. E., Fomina M. A. and Chesnokov D. V. Simulation of the influence of test factors on the corrosion of metal materials tested for the aggressive influence of components of the industrial atmosphere in a salt spray chamber. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2015, vol. 6, issue 4, pp. 327–335. <http://dx.doi.org/10.1134/S2075113315040152>
16. Pedferri P. *Corrosion Factors*. Corrosion Science and Engineering. Engineering Materials, Springer, Cham, 2018, pp. 119–143. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-97625-9_7
17. Wahyudi S., Gapsari F. and Awali H. Optimization of chemical environment condition towards corrosion rate of sulfuric acid resistant alloy metal (saramet) using response surface methodology. *Applied Mechanics and Materials*, 2017, vol. 493, pp. 733–738. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.493.733>
18. Grachev V. A., Rozen A. E., Kozlov G. V. and Rozen A. A. Mechanism of Pitting Corrosion Protection of Metals and Alloys. *Oriental Journal of Chemistry*, 2016, vol. 32, issue 2, pp. 845–850. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320209>
19. Higgins G. L., Hullcoop R. S., Turgoose S. and Bullough W. *Surface pretreatment*. Shreir's Corrosion, Elsevier Science, 2010, pp. 2483–2493. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00132-3>
20. Ryabova A. V., Es'Kova T. A., Karandashova N. S., Yatsenko E. A. and Smolii V. A. Coatings and enamels: Development of a method for improving the performance properties of glass-enamel coatings for steel. *Glass and Ceramics*, 2015, vol. 71, issues 9-10, pp. 327–329. <http://dx.doi.org/10.1007/s10717-015-9680-z>
21. Poulson B. Predicting and Preventing Flow Accelerated Corrosion in Nuclear Power Plant. *International Journal of Nuclear Energy*, 2014, vol. 2014, article no. 423295.
22. Marcus P. *Corrosion mechanisms in theory and practice*. CRC Press, Boca Raton, 2011. 941 p.
23. Matsch S. and Böhni H. Influence of temperature on the localized corrosion of stainless steels. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2000, vol. 36, issue 10, pp. 1122–1128. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02757532>
24. Dastgerdi A. A., Brenna A., Ormellese M., Pedferri M. P. and Bolzoni F. Experimental design to study the influence of temperature, pH, and chloride concentration on the pitting and crevice corrosion of UNS S30403 stainless steel. *Corrosion Science*, 2019, vol. 159, p. 108160. <https://doi.org/10.1016/J.CORSCI.2019.108160>
25. Ryl J., Gawel L., Cieslik M., Gerengi H., Lentka G. and Slepski P. Instantaneous impedance analysis of non-stationary corrosion process: A case study of carbon steel in 1M HCl. *International Journal of Electrochemical Science*, 2017, vol. 12, issue 7, pp. 6908–6919. <http://dx.doi.org/10.20964/2017.07.15>
26. Trinidad P., Barker D. and Walsh F. *Corrosion of metals and its control*. Afinidad, 1996, no. 53 (465), pp. 311–320.
27. Walsh F., Ottewill G. and Barker D. *Corrosion and protection of metals: II. Types of*

corrosion and protection methods. Transactions of the Institute of Metal Finishing, 1993, vol. 71, issue 3, pp. 117–120. <http://dx.doi.org/10.1080/00202967.1993.11871002>

28. Al-Sherrawi M. H., Lyashenko V., Edaan E. M. and Sotnik S. Corrosion of metal construction structures. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, vol. 9, issue 6, pp. 437–446.

29. Cai Y., Zhao Y., Ma X., Zhou K. and Chen Y. Influence of environmental factors on atmospheric corrosion in dynamic environment. Corrosion Science, 2018, vol. 137, pp. 163–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2018.03.042>

30. Song Q., Wang X., Pan B. and Wan L. Effect of relative humidity on corrosion of Q235 carbon steel under thin electrolyte layer in simulated marine atmosphere. Anti-Corrosion Methods and Materials, 2020, vol. 67, issue 2, pp. 187–196. <https://doi.org/10.1108/acmm-07-2019-2157>

31. Cai L., Chen M., Wang Y., Chen C., Zhang L., Zhou H., Wu L. and Yan Y. Electrochemical corrosion behavior of bronze materials in an acid-containing simulated atmospheric environment. Materials and Corrosion, 2020, vol. 71, issue 3, pp. 464–473. <https://doi.org/10.1002/maco.201911196>

32. Yuzevych V. M., Dzhala R. M. and Koman B. P. Analysis of metal corrosion under conditions of mechanical impacts and aggressive environments // *Металлофизика и новейшие технологии*. 2017. Т. 39. № 12. С. 1655–1667. <http://dx.doi.org/10.15407/mfint.39.12.1655>

33. Klyatis L. M. Establishment of accelerated corrosion testing conditions. Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, Seattle, WA, USA, 2002, pp. 636–641. <http://dx.doi.org/10.1109/RAMS.2002.981714>

34. Mamedov K. A., Gamidova N. S. and Aliev S. T. Development of a New Multifunctional Inhibitor for Protecting Oil Industry Equipment From Corrosion. Chemical and Petroleum Engineering, 2019, vol. 55, issue 4, pp. 340–346. <http://dx.doi.org/10.1007/s10556-019-00625-6>

35. Boitsov B. V., Lesnevskiy L. N., Lyakhovetskiy M. A., Petukhov Y. V., Pruss E. M., Troshin A. E. and Ushakov A. M. Improving the safety of aluminum press molds by protecting them from wear and corrosion by the microarc oxidation method. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2013, vol. 42, pp. 479–485. <https://doi.org/10.3103/S1052618813060034>

36. Hoar T. P. Electrochemical principles of the corrosion and protection of metals. Journal of Applied Chemistry, 2007, vol. 11, issue 4, pp. 121–130. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.5010110401>

37. Petrescu S., Sebastian M. S., Nemtoi G. and Cretescu I. Study on metal anodic dissolu-

tion. Revista de Chimie, 2009, vol. 60, issue 5, pp. 462–467.

38. Gerasimov V. V. and Rozenfeld I. L. Effect of temperature on the rate of corrosion of metals. Bulletin of the Academy of Science of the USSR, Division of Chemical Science, 1957, vol. 6, pp. 1192–1197. <https://doi.org/10.1007/BF01167386>

39. Blanks H. S. Arrhenius and the temperature dependence of non-constant failure rate. Quality and Reliability Engineering International, 1990, vol. 6, issue 4, pp. 259–265. <https://doi.org/10.1002/QRE.4680060408>

40. Emran K. M. Effects of concentration and temperature on the corrosion properties of the Fe-Ni-Mn alloy in HCl solutions. Research on Chemical Intermediates, 2015, vol. 41, pp. 3583–3596. <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1473-9>

41. Theuwissen K., Lacaze J. and Laffont L. Structure of graphite precipitates in cast iron. Carbon N. Y., 2016, vol. 96, pp. 1120–1128. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.10.066>

42. Campbell J. The structure of cast irons. Materials Science Forum, 2018, vol. 925, pp. 86–89. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net%2FMSF.925.86>

43. Rumyantseva V. E. and Konovalova V. S. Investigation of a Steel Local Corrosion in Chloride-Containing Media. Key Engineering Materials, 2020, vol. 872, pp. 7–13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.872.7>

44. Rumyantseva V. E. and Konovalova V. S. The Reinforced Concrete Reinforcement Corrosion Degradation Inhibition with Nitrates of Alkali and Alkali-Earth Metals. Materials Science Forum, 2020, vol. 1011, pp. 72–78. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.72>

45. Fouda A. S., Abousalem A. S. and El-Ewady G. Y. Mitigation of corrosion of carbon steel in acidic solutions using an aqueous extract of Tiliacordata as green corrosion inhibitor. International Journal of Industrial Chemistry, 2017, vol. 8, pp. 61–73. <http://dx.doi.org/10.1007/s40090-016-0102-z>

46. Lecante A., Robert F., Lebrini M. and Roos C. Inhibitive effect of Siparunaguianensis extracts on the corrosion of low carbon steel in acidic media. International Journal of Electrochemical Science, 2011, vol. 6, issue 11, pp. 5249–5264.

47. Prokopenko V. A., Lavrinenko E. N. and Pertsov N. V. The Role of Iron-Carbon Galvanic Contact in the Formation of Dispersed Iron Hydr(oxides) in Water and Electrolyte Solutions. Colloid Journal, 2001, vol. 63, issue 4, pp. 459–463. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016758006174>

References

1. Herrasti P., Ponce De León C. and Walsh F. C. The corrosion behaviour of nanograined metals and alloys. *Revista de metalurgia*, 2012, vol. 48, issue 5, pp. 377–394. <https://doi.org/10.3989/REVMETALM.1243>
2. Królikowski A. Corrosion behaviour of amorphous and nanocrystalline alloys. *Solid State Phenomena*, 2015, vol. 227, pp. 11–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.227.11>
3. Qian Y. H., Niu D., Xu J. J. and Li M. S. The influence of chromium content on the electrochemical behavior of weathering steels. *Corrosion Science*, 2013, vol. 71, pp. 72–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2013.03.002>
4. Pražák M. and Barton K. The influence of alloying elements on the corrosion behaviour of single-phase alloys. *Corrosion Science*, 1965, vol. 5, issue 5, pp. 377–382. <https://doi.org/10.1016/S0010-938X%2865%2990540-8>
5. Ambat R., Davenport A. J., Scamans G. M. and Afseth A. Effect of iron-containing intermetallic particles on the corrosion behaviour of aluminium. *Corrosion Science*, 2006, vol. 48, issue 11, pp. 3455–3471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2006.01.005>
6. McCuen R. H. and Albrecht P. Effect of alloy composition on atmospheric corrosion of weathering steel. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2005, vol. 17, issue 2, p. 117. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2005\)17:2\(117\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(117))
7. Ward L. P., Chen D. and O'Mullane A. P. The electrochemical corrosion behaviour of quaternary gold alloys when exposed to 3.5 % NaCl solution. *Gold Bulletin*, 2013, vol. 46, pp. 35–45. <https://doi.org/10.1007/s13404-012-0079-0>
8. Wasim M., Shoaib S., Mubarak N. M., Inamuddin and Asiri A. M. Factors influencing corrosion of metal pipes in soils. *Environmental Chemistry Letters*, 2018, vol. 16, pp. 861–879. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0731-x>
9. Wang S., Yin X., Zhang H., Liu D. and Du N. Coupling effects of pH and dissolved oxygen on the corrosion behavior and mechanism of x80 steel in acidic soil simulated solution. *Materials*, 2019, vol. 12, issue 19, p. 3175. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12193175>
10. Mazhar A. A., Arab S. T. and Noor E. A. The role of chloride ions and pH in the corrosion and pitting of Al-Si alloys. *Journal of Applied Electrochemistry*, 2001, vol. 31, issue 10, pp. 1131–1140. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012039804089>
11. Papavinasam S. Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. Gulf Professional Publishing, London, Great Britain, 2014. 992 p. <https://doi.org/10.1016/c2011-0-04629-x>
12. Ma H., Cheng X., Li G., Chen S., Quan Z., Zhao S. and Niu L. The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions. *Corrosion Science*, 2000, vol. 42, issue 10, pp. 1669–1683. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(00\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(00)00003-2)
13. Wang W., Lu D., Li X. and Liang L. Risk Assessment and Material Suitability Evaluation on Static Equipment of Hydrofluoric Acid Alkylation Unit. *Processes*, 2021, vol. 9, issue 8, p. 1464. <https://doi.org/10.3390/pr9081464>
14. Afanasyev A. V., Mel'nikov A. A., Konovalov S. V. and Vaskov M. I. The Analysis of the Influence of Various Factors on the Development of Stress Corrosion Defects in the Main Gas Pipeline Walls in the Conditions of the European Part of the Russian Federation. *International Journal of Corrosion*, 2018, vol. 2018, article no. 1258379. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/1258379>
15. Kutyrev A. E., Fomina M. A. and Chesnokov D. V. Simulation of the influence of test factors on the corrosion of metal materials tested for the aggressive influence of components of the industrial atmosphere in a salt spray chamber. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2015, vol. 6, issue 4, pp. 327–335. <http://dx.doi.org/10.1134/S2075113315040152>
16. Pedferri P. Corrosion Factors. *Corrosion Science and Engineering. Engineering Materials*, Springer, Cham, 2018, pp. 119–143. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-97625-9_7
17. Wahyudi S., Gapsari F. and Awali H. Optimization of chemical environment condition towards corrosion rate of sulfuric acid resistant alloy metal (saramet) using response surface methodology. *Applied Mechanics and Materials*, 2017, vol. 493, pp. 733–738. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.493.733>
18. Grachev V. A., Rozen A. E., Kozlov G. V. and Rozen A. A. Mechanism of Pitting Corrosion Protection of Metals and Alloys. *Oriental Journal of Chemistry*, 2016, vol. 32, issue 2, pp. 845–850. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320209>
19. Higgins G. L., Hullcoop R. S., Turgoose S. and Bullough W. Surface pretreatment. *Shreir's Corrosion*, Elsevier Science, 2010, pp. 2483–2493. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00132-3>
20. Ryabova A. V., Es'Kova T. A., Karandashova N. S., Yatsenko E. A. and Smolii V. A. Coatings and enamels: Development of a method for improving the performance properties of glass-enamel coatings for steel. *Glass and Ceramics*, 2015, vol. 71, issues 9-10, pp. 327–329. <http://dx.doi.org/10.1007/s10717-015-9680-z>
21. Poulson B. Predicting and Preventing Flow Accelerated Corrosion in Nuclear Power

- Plant. International Journal of Nuclear Energy, 2014, vol. 2014, article no.423295.
22. Marcus P. Corrosion mechanisms in theory and practice. CRC Press, Boca Raton, 2011. 941 p.
23. Matsch S. and Böhni H. Influence of temperature on the localized corrosion of stainless steels. Russian Journal of Electrochemistry, 2000, vol. 36, issue 10, pp. 1122–1128. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02757532>
24. Dastgerdi A. A., Brenna A., Ormellese M., Pedefferri M. P. and Bolzoni F. Experimental design to study the influence of temperature, pH, and chloride concentration on the pitting and crevice corrosion of UNS S30403 stainless steel. Corrosion Science, 2019, vol. 159, p. 108160. <https://doi.org/10.1016/J.CORSCI.2019.108160>
25. Ryl J., Gawel L., Cieslik M., Gerengi H., Lentka G. and Slepski P. Instantaneous impedance analysis of non-stationary corrosion process: A case study of carbon steel in 1M HCl. International Journal of Electrochemical Science, 2017, vol. 12, issue 7, pp. 6908–6919. <http://dx.doi.org/10.20964/2017.07.15>
26. Trinidad P., Barker D. and Walsh F. Corrosion of metals and its control. Afinidad, 1996, no. 53 (465), pp. 311–320.
27. Walsh F., Ottewill G. and Barker D. Corrosion and protection of metals: II. Types of corrosion and protection methods. Transactions of the Institute of Metal Finishing, 1993, vol. 71, issue 3, pp. 117–120. <http://dx.doi.org/10.1080/00202967.1993.11871002>
28. Al-Sherrawi M. H., Lyashenko V., Edaan E. M. and Sotnik S. Corrosion of metal construction structures. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, vol. 9, issue 6, pp. 437–446.
29. Cai Y., Zhao Y., Ma X., Zhou K. and Chen Y. Influence of environmental factors on atmospheric corrosion in dynamic environment. Corrosion Science, 2018, vol. 137, pp. 163–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2018.03.042>
30. Song Q., Wang X., Pan B. and Wan L. Effect of relative humidity on corrosion of Q235 carbon steel under thin electrolyte layer in simulated marine atmosphere. Anti-Corrosion Methods and Materials, 2020, vol. 67, issue 2, pp. 187–196. <https://doi.org/10.1108/acmm-07-2019-2157>
31. Cai L., Chen M., Wang Y., Chen C., Zhang L., Zhou H., Wu L. and Yan Y. Electrochemical corrosion behavior of bronze materials in an acid-containing simulated atmospheric environment. Materials and Corrosion, 2020, vol. 71, issue 3, pp. 464–473. <https://doi.org/10.1002/maco.201911196>
32. Yuzevych V. M., Dzhala R. M. and Koman B. P. Analysis of metal corrosion under conditions of mechanical impacts and aggressive environments. Metallofizika I noveishie tekhnologii, 2017, vol. 39, no. 1, pp. 1655–1667. <http://dx.doi.org/10.15407/mfint.39.12.1655>
33. Klyatis L. M. Establishment of accelerated corrosion testing conditions. Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, Seattle, WA, USA, 2002, pp. 636–641. <http://dx.doi.org/10.1109/RAMS.2002.981714>
34. Mamedov K. A., Gamidova N. S. and Aliev S. T. Development of a New Multifunctional Inhibitor for Protecting Oil Industry Equipment From Corrosion. Chemical and Petroleum Engineering, 2019, vol. 55, issue 4, pp. 340–346. <http://dx.doi.org/10.1007/s10556-019-00625-6>
35. Boitsov B. V., Lesnevskiy L. N., Lyakhovetskiy M. A., Petukhov Y. V., Pruss E. M., Troshin A. E. and Ushakov A. M. Improving the safety of aluminum press molds by protecting them from wear and corrosion by the microarc oxidation method. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2013, vol. 42, pp. 479–485. <https://doi.org/10.3103/S1052618813060034>
36. Hoar T. P. Electrochemical principles of the corrosion and protection of metals. Journal of Applied Chemistry, 2007, vol. 11, issue 4, pp. 121–130. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.5010110401>
37. Petrescu S., Sebastian M. S., Nemtoi G. and Cretescu I. Study on metal anodic dissolution. Revista de Chimie, 2009, vol. 60, issue 5, pp. 462–467.
38. Gerasimov V. V. and Rozenfeld I. L. Effect of temperature on the rate of corrosion of metals. Bulletin of the Academy of Science of the USSR, Division of Chemical Science, 1957, vol. 6, pp. 1192–1197. <https://doi.org/10.1007/BF01167386>
39. Blanks H. S. Arrhenius and the temperature dependence of non-constant failure rate. Quality and Reliability Engineering International, 1990, vol. 6, issue 4, pp. 259–265. <https://doi.org/10.1002/QRE.4680060408>
40. Emran K. M. Effects of concentration and temperature on the corrosion properties of the Fe-Ni-Mn alloy in HCl solutions. Research on Chemical Intermediates, 2015, vol. 41, pp. 3583–3596. <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1473-9>
41. Theuwissen K., Lacaze J. and Laffont L. Structure of graphite precipitates in cast iron. Carbon N. Y., 2016, vol. 96, pp. 1120–1128. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2015.10.066>
42. Campbell J. The structure of cast irons. Materials Science Forum, 2018, vol. 925, pp. 86–89. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net%20FMSF.925.86>
43. Rumyantseva V. E. and Konovalova V. S. Investigation of a Steel Local Corrosion in Chloride-Containing Media. Key Engineering Materials, 2020, vol. 872, pp. 7–13.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.872.7>

44. Rumyantseva V. E. and Konovalova V. S. The Reinforced Concrete Reinforcement Corrosion Degradation Inhibition with Nitrates of Alkali and Alkali-Earth Metals. *Materials Science Forum*, 2020, vol. 1011, pp. 72–78. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.72>

45. Fouda A. S., Abousalem A. S. and El-Ewady G. Y. Mitigation of corrosion of carbon steel in acidic solutions using an aqueous extract of Tiliacordata as green corrosion inhibitor. *International Journal of Industrial Chemistry*, 2017, vol.

8, pp. 61–73. <http://dx.doi.org/10.1007/s40090-016-0102-z>

46. Lecante A., Robert F., Lebrini M. and Roos C. Inhibitive effect of Siparunaguianensis extracts on the corrosion of low carbon steel in acidic media. *International Journal of Electrochemical Science*, 2011, vol. 6, issue 11, pp. 5249–5264.

47. Prokopenko V. A., Lavrinenko E. N. and Pertsov N. V. The Role of Iron-Carbon Galvanic Contact in the Formation of Dispersed Iron Hydr(oxides) in Water and Electrolyte Solutions. *Colloid Journal*, 2001, vol. 63, issue 4, pp. 459–463. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016758006174>

Румянцева Варвара Евгеньевна

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

профессор кафедры естественнонаучных дисциплин

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

директор Института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук, зав. кафедрой естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS

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

Russian Federation, Ivanovo

professor of the department of natural sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

director of the Institute of information technology, natural sciences and humanities, head of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: varrym@gmail.com

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Konovalova Viktoriya Sergeevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

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

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Осыко Валентин Алексеевич

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

аспирант

E-mail: mechanic4991@gmail.com

Osyko Valentin Alekseevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo
postgraduate student
E-mail: mechanic4991@gmail.com

Шенберева Александра Вячеславовна
ООО «Мераком»
Российская Федерация, г. Иваново
инженер-проектировщик
E-mail: sshenbereva@gmail.com
Shenbereva Alexandra Vyacheslavovna
ООО «Merakom»
Russian Federation, Ivanovo
design engineer
E-mail: sshenbereva@gmail.com

УДК 666.97:66.02:620.193

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЯЗКОСТИ НАСЫЩАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ РАЗЛИЧНОЙ ПОРИСТОСТИ

**В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, И. В. КРАСИЛЬНИКОВ^{2,3}, И. А. КРАСИЛЬНИКОВА⁴,
К. Б. СТРОКИН⁵, У. А. НОВИКОВА⁵**

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

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

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва,

⁴ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир,

⁵ Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru,
strokin07@rambler.ru, uliana.a.novikova@gmail.com

В представленной работе поставлена проблема изучения Влияние воды, насыщающей пористую структуру цементного камня, на прочность, так как что при заполнении пор и капилляров жидкостью создается более равномерное напряженное состояние, благоприятно влияющее на показатели прочности. Описана методика подготовки образцов цементного камня различной пористости. Представлены результаты лабораторных экспериментов по пористости, коэффициента насыщенности пор жидкостью и прочности образцов. Изучение влияния вязкости жидкости, насыщающей поры цементного камня, проведены при пропитке до насыщения образцов водой, глицерином и вазелиновым маслом при различных температурах.

Ключевые слова: цементный камень, температура, вязкость, предел прочности при сжатии, пористость.

DETERMINATION OF THE EFFECT OF THE VISCOSITY OF THE DRYING LIQUID ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT STONE OF DIFFERENT POROSITY

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, I. V. KRASILNIKOV^{2,3}, I. A. KRASILNIKOVA⁴,
K. B. STROKIN⁵, U. A. NOVIKOVA⁵**

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

² Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo

³ Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow

⁴ Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir

⁵ Sakhalin State University,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

E-mail: varrym@gmail.com , korasb@mail.ru , irinanebukina@rambler.ru

In the presented work, the problem of studying the effect of water saturating the porous structure of cement stone on strength is posed, since when filling pores and capillaries with liquid, a more uniform stress state is created, favorably affecting strength indicators. The method of preparation of cement stone samples of different porosity is described. The results of laboratory experiments on porosity, degree of saturation and strength of samples are presented. The study of the effect of the viscosity of the liquid saturating the pores of cement stone was carried out during impregnation before saturation of the samples with water, glycerin and petroleum jelly oil at different temperatures.

Key words: cement stone, temperature, viscosity, compressive strength, porosity.

Введение

Изготовление бетонов с проектным сочетанием физико-механических и химических свойств является основной целью современных научных исследований в области строительного материаловедения. Достижение такой цели осуществляется в результате всестороннего исследования сингулярности формирования макро- и микроструктуры бетонного композита. Управление сочетанием физико-механических и химических параметров бетона должно базироваться на выявленных законах формирования капиллярно-пористой структуры бетонного композита коррелирующими с его свойствами.

Воздействие жидких веществ и растворов, которые заполняют поры и капилляры цементного камня, на физико-механические и химические свойства бетонного композита было предметом анализа российских и зарубежных исследователей [1-6]. Выдвинуты различные гипотезы о механизме его влияния, получены диаметрально противоположные результаты лабораторных экспериментов. Например, имеются результаты исследований, доказывающих усиление ползучести бетона в результате его насыщения водой, но существуют и противоположные сведения об ее снижении. Имеются и супротивные мнения о влиянии насыщения капиллярно-пористой структуры бетона водой на прочность бетона при сжатии, растяжении и изгибе, а также на диаграмму деформирования бетона.

Исследователи констатируют, что наличие в порах и капиллярах жидкости делает напряженное состояние в структуре композита более равномерным, отсюда и следует механическое упрочнение бетона. Это связано с тем, что жидкость в порах и капиллярах принимает на себя часть нормальных и касательных напряжений, поскольку она заполняет макро- и микропоры и обеспечивает вязкое сопротивление выдавливанию при деформировании стенок пор и капилляров. Это, по мнению ряда ученых, позволяет управлять кривой деформирования бетона и напряженно-деформируемым состоянием конструкции.

Цель исследования: на основании лабораторных экспериментов, моделирующих воздействие вязкости жидкости, установить влияние жидких веществ и растворов, насыщающих капиллярно-пористую структуру бетонного композита в результате заполнения, имеющихся в нем пор и капилляров, на физико-механические и химические свойства. Нами проведены лабораторные эксперименты на образцах из цементного камня модифицированных порообразователем. В ходе эксперимента поровую структуру образцов насыщали жидкостями различной вязкости с последующими механическими испытаниями, которые позволили установить влияние динамической вязкости на изменение прочности при сжатии. Данные исследования позволяют проанализировать изменение физико-механических свойств и установить влияние на механизмы ползучести бетона жидких веществ и растворов, насыщающих капиллярно-пористую структуру бетонного композита.

Материалы и методы исследования

При проведении экспериментальных исследований по изучению воздействия выжимания жидкости из пор и капилляров при нагружении бетонного композита механическим воздействием и влияния вязкости жидкости насыщающей поры и капилляры на напряженно-деформируемое состояние модифицированного порообразователем цементного камня, применялись технический глицерин и вазелиновое масло. Данные жидкости значительно изменяют кинематическую и динамическую вязкости на относительно небольшом температурном отрезке.

Вязкость глицерина согласно методике работы с вискозиметром типа ВПЖ-2 определяется по ГОСТ 10028 «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия». Вискозиметр ВПЖ-2 может быть использован при различных температурах. Кинематическая и динамическая вязкость жидкости определялась на отрезке температур 0...+60°C, с шагом 5°C. Расчет кинематической вязкости жидкости проводился по формуле:

$$v = 0,9292 \frac{g}{9,807} \tau, \quad (1)$$

где v – кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;
 τ – время истечения жидкости, сек.;
 g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;
 0,9292 – постоянная данного вискозиметра.

Плотность исследуемых жидкостей при различных значениях температур определялась денсиметром, после чего рассчитывалась динамическую вязкость:

$$\eta = \rho v, \quad (2)$$

где η – динамическая вязкость жидкости, $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

С учетом поставленной цели исследования воздействия на напряженно-деформируемое состояние бетонных композитов их пористой структуры, ее необходимо модифицировать порообразователем. Модификация порообразователем структуры бетонного композита позволяет изменять пористость материала в довольно широких диапазонах. Управлять капиллярно-пористой структурой бетонного композита позволяет изменение водоцементного отношения и введение порообразователя, в качестве которого применялась алюминиевая пудра.

Исследования проводились из модифицированного порообразователем цементного камня на заранее изготовленных образцах следующих форм и размеров:

- цилиндрической формы, диаметром основания 10 мм и высотой 50 мм;
- кубики с размером ребра 20 мм.

Цементное тесто для образцов изготавливалось из шлакопортландцемента марки М400 по ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» при водоцементном отношении 0,3 и 0,4. В качестве порообразователя применялась алюминиевая пудра, которая добавлялась к воде. Применяемая при изготовлении цементного

теста вода соответствовала ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия». Перемешивание цементного теста производили вручную в течение 5 мин., с последующим вибрированием и штыкованием стержнями при формировании. Образцы в формах выдерживались в течение суток в помещении с постоянной температурой $+22^\circ\text{C}$ и относительной влажностью воздуха 80...85 %. Для уменьшения эффекта высыхания и усадки и во избежание появления трещин на поверхности образцов, формы перекрывались влажной тканью.

Отформованные образцы помещались в термостат на 60 суток и выдерживались при постоянной температурой $+18^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 95 %. Через 60 суток с момента формирования, образцы высушивались при температуре $+105^\circ\text{C}$. Высушенные образцы помещались в герметично закрытый эксикатор над испытуемой жидкостью (вазелиновое масло или глицерин). После чего из них откачивался воздух форвакуумным насосом. Затем образцы погружались в жидкость, а вакуумирование продолжалось до полного удаления воздуха. Далее образцы с насыщающей жидкостью помещали в камеру и под давлением 10 атм насыщались жидкостью.

Насыщение образцов жидкостью контролировалась периодическим взвешиванием. После достижения образцами постоянной массы, начинались их испытания на сжатие.

Механические испытания производили при равномерном увеличении нагрузки на образцы, со скоростью $250 \text{ кН}/\text{м}^2\cdot\text{с}$ до полного разрушения на машине для испытаний на сжатие ИП-1А-500 (500кН) по шкале 0-20 кН и четырех значениях динамической вязкости насыщающей пористую структуру модифицированного порообразователем цементного камня жидкости. В табл. 1 приведены динамические вязкости указанных жидкостей, соответствующие определенным температурам.

Таблица 1. Динамическая вязкость исследуемых жидкостей

Жидкость	Динамическая вязкость жидкости, $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ при температуре			
	0°C	20°C	40°C	60°C
Глицерин	1,413	0,213	0,065	0,025
Вазелиновое масло	0,735	0,164	0,051	0,024

Обеспечение точности исследований обеспечивалось воспроизводимостью результатов измерений на восьми образцах. Обработка результатов испытаний и проверка достоверности этих показателей проводились известными методами математической статисти-

стики по обработке экспериментальных данных.

До разрушения образцов испытанием на сжатие определяли физические характеристики модифицированного цементного камня, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели физических характеристик цементного камня

Номер образца	В/Ц отношения	Содержание порообразователя, % от массы цемента	Плотность, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Общая пористость, %
1	0,3	-	1,872	2,496	24,98
1.1		0,1	1,4295	2,995	52,27
1.2		0,25	1,274	2,787	54,30
1.3		0,5	1,185	2,776	57,33
2	0,4	-	1,722	2,627	34,45
2.1		0,1	1,393	2,777	49,83
2.2		0,25	1,274	2,994	57,44
2.3		0,5	1,138	2,896	60,72

При насыщении поровой структуры образцов из модифицированного порообразователем цементного камня и определении коэффициента насыщенности пор указанными жидкостями, кроме динамической вязкости, учиты-

вался и размер молекул (см. табл. 3). Несмотря на то, что размер молекул жидкостей много меньше размеров пор и капилляров не весь объем пор был полностью заполнен жидкостью.

Таблица 3. Характеристики насыщающих жидкостей

Наименование жидкости	Динамическая вязкость при температуре +20°C, Н·с/м ²	Радиус молекул, Å
Вода	0,001	1,38
Вазелиновое масло	0,164	21,56
Глицерин	0,213	3,08

Результаты исследования и их обсуждение

Основные физико-механические характеристики цементного камня, пропитанного водой, глицерином и вазелиновым маслом представлены в табл. 4–6. Очевидно, динамическая вязкость обуславливает значения коэффициента насыщенности пор жидкостью. Насыщение образцов водой меньше, чем насыщение глицерином и вазелиновым маслом. Так как динамическая вязкость воды при комнатной температуре значительно меньше вязкости глицерина и вазелинового масла, происходит легкое истечение их из пор. Следовательно, в процессе взвешивания образцов происходит истечение значительного объема этих жидкостей из крупных пор, вследствие чего и наблюдается меньшее насыщение ими модифицированного порообразователем цементного камня. Зависимость коэффициента насыщенности пор жидкостью от общей пористости модифицированного порообразователем цементного камня одинакова: при увели-

чении общей пористости коэффициент насыщенности пор жидкостью возрастает.

Анализ полученных данных показывает значительные увеличение прочности образцов пропитанных глицерином и вазелиновым маслом. Коэффициент насыщенности пор, независимо от динамической вязкости жидкости насыщающей поры и капилляры оказывает влияние на прочность при сжатии модифицированного порообразователем цементного камня, а именно с увеличением коэффициента насыщенности пор жидкостью снижается прочность образцов при сжатии. Выявленный результат коррелирует с общей пористостью образцов, так как с увеличением её значения повышается и их коэффициент насыщенности пор жидкостью. Таким образом, на напряженно-деформируемое состояние образцов из модифицированного порообразователем цементного камня оказывают влияние: значение общей пористости, коэффициент насыщенности пор жидкостью и вязкость насыщающей жидкости.

Таблица 4. Основные физические и механические характеристики модифицированного цементного камня, пористая структура которого насыщена водой

Номер образца	Масса сухого образца, г	Масса после насыщения, г	Приращение массы, г Δ $g_1 - g_2$	Объем воды, см ³	Объем образцов, см ³	Общая пористость %	Насыщенность %		Коэффициент насыщенности пор жидкостью		Предел прочности при сжатии, R МПа
							По массе образца	По объему образца	По массе образца	По объему образца	
1	10,501	10,803	0,302	0,302	8,240	24,98	2,9	3,7	0,116	0,149	16,8
1.1	11,614	14,216	2,602	2,602	8,327	52,27	22,4	31,6	0,429	0,604	14,7
1.2	11,954	14,782	2,828	2,828	8,322	54,3	23,6	34,3	0,435	0,632	13,7
1.3	12,391	15,927	3,536	3,536	8,165	57,33	28,6	43,74	0,498	0,763	11,3
2	10,752	11,475	0,723	0,723	8,118	34,45	6,7	9,0	0,195	0,261	14,5
2.1	11,756	14,063	2,307	2,307	8,118	49,83	19,6	28,7	0,394	0,576	13,8
2.2	12,065	15,583	3,518	3,518	8,119	57,44	29,2	43,8	0,508	0,762	10,8
2.3	12,551	16,527	3,976	3,976	8,205	60,72	31,7	48,9	0,522	0,806	9,7

Таблица 5. Основные физические и механические характеристики модифицированного цементного камня, пористая структура которого насыщена глицерином

Номер образца	Масса сухого образца, г	Масса после насыщения, г	Приращение массы, г Δ $g_1 - g_2$	Объем глицерина, см ³	Объем образцов, см ³	Общая пористость %	Насыщенность %		Коэффициент насыщенности пор жидкостью		Предел прочности при сжатии, R МПа
							По массе образца	По объему образца	По массе образца	По объему образца	
1	11,673	12,494	0,821	0,673	8,211	24,98	7,10	8,20	0,282	0,328	34,3
1.1	11,286	15,533	4,247	3,483	8,207	52,27	37,60	42,40	0,7202	0,812	22,4
1.2	10,237	14,937	4,7	3,854	8,244	54,30	45,90	46,80	0,846	0,861	21,0
1.3	10,544	15,934	5,39	4,419	8,537	57,33	51,10	51,80	0,892	0,903	18,1
2	12,814	15,444	2,63	1,345	8,257	34,45	12,80	16,30	0,373	0,473	30,7
2.1	12,128	16,335	4,207	3,231	8,366	49,83	31,70	38,60	0,638	0,775	27,7
2.2	10,652	15,562	4,91	4,025	8,167	57,44	46,10	49,30	0,802	0,858	15,8
2.3	10,286	15,991	5,705	4,678	8,213	60,72	55,50	57,00	0,914	0,938	13,5

Таблица 6. Основные физические и механические характеристики модифицированного цементного камня, пористая структура которого насыщена вазелиновым маслом

Номер образца	Масса сухого образца, г	Масса после насыщения, г	Приращение массы, г $\Delta g_1 - g_2$	Объем глицерина см ³	Объем образцов, см ³	Общая пористость %	Насыщенность %		Коэффициент насыщенности пор жидкостью		Предел прочности при сжатии, R МПа
							По массе образца	По объему образца	По массе образца	По объему образца	
1	12,045	12,356	0,310	0,354	8,151	24,98	2,58	4,35	0,103	0,174	36,6
1.1	12,427	15,238	2,811	3,209	8,197	52,27	22,60	39,20	0,433	0,749	25,1
1.2	11,413	14,721	3,307	3,776	8,200	54,30	29,00	46,10	0,534	0,848	23,2
1.3	12,711	16,680	3,949	4,508	8,520	57,33	31,10	52,90	0,542	0,923	20,7
2	12,730	13,437	0,707	0,807	8,253	34,45	5,60	9,80	0,161	0,284	32,3
2.1	12,500	15,116	2,615	2,985	8,310	49,83	20,90	35,90	0,42	0,721	24,1
2.2	10,923	14,467	3,544	4,045	8,180	57,44	32,40	49,50	0,565	0,861	21,0
2.3	11,374	15,387	4,013	4,581	8,240	60,72	35,30	55,60	0,581	0,916	16,5

Исследовано также влияние вязкости одной и той же жидкости насыщающей поры бетонного композита, в частности, глицерина и вазелинового масла, на его механические свойства, в частности предел прочности при сжатии. В табл. 7 представлены средние значения результатов испытания на сжатие модифицированного порообразователем цементного камня, пропитанного глицерином и вазелиновым маслом при различных температурах, а, следовательно, и вязкостей жидкостей. Как видно из табл. 7, прочность цементного камня значи-

тельно менялась в зависимости от изменения динамической вязкости (для глицерина от 0,025 до 1,413 Н с/м² и вазелинового масла от 0,024 до 0,735 Н с/м²), прочность при сжатии отдельных образцов возрастала на 30...50%. И в целом для всех случаев наблюдается общая тенденция увеличения прочности при сжатии модифицированного порообразователем цементного камня с увеличением вязкости жидкости, насыщающей поровую структуру бетонного композита.

Таблица 7. Прочность цементного камня, насыщенного жидкостями различной вязкости

Насыщающая жидкость	Номер образца	Прочность образцов, пропитанных насыщающими жидкостями, при их вязкостях, соответствующих температурам			
		0°C	20°C	40°C	60°C
Глицерин	1	36,1	34,0	32,8	31,0
	1.1	24,5	22,4	22,4	20,8
	1.2	21,8	21,0	19,6	17,5
	1.3	18,2	18,1	16,2	15,8
	2	32,1	30,7	29,2	28,0
	2.1	30,3	27,7	26,0	23,2
	2.2	17,1	15,8	15,4	15,4
	2.3	16,1	13,5	13,1	13,1
Вазелиновое масло	1	37,1	36,6	35,8	35,1
	1.1	27,3	25,1	24,8	24,1
	1.2	25,0	23,2	22,1	21,8
	1.3	22,0	20,7	20,0	19,6
	2	33,5	32,3	31,6	30,0
	2.1	26,6	24,1	23,0	21,5
	2.2	23,5	21,0	20,1	19,3
	2.3	17,9	16,5	15,3	14,7

Полученные результаты лабораторных экспериментов показывают, что насыщение поровой структуры модифицированного порообразователем цементного камня вязкой жидкостью вызывает повышение предела прочности при сжатии пропорционально вязкостям жидкостей. Отсюда следует, что пропиточный материал воспринимает на себя бóльшие нормальные и касательные напряжения при бóльшей динамической вязкости пропиточного материала. Насыщение образцов водой вызывает снижение прочности при сжатии, поскольку, как видно из опытов, адсорбционный эф-

фект понижения прочности для неё оказался существеннее её вязкого сопротивления выжиманию из пор и капилляров.

Вязкость насыщающих жидкостей регулировалась изменением температуры. Температура могла оказывать влияние на предел прочности при сжатии модифицированного порообразователем цементного камня. Для большей достоверной оценки изучаемого вопроса были испытаны ненасыщенные жидкостями образцы при тех же температурах, которыми регулировали их вязкость. Результаты проведённых испытаний в табл. 8.

Таблица 8. Значения предела прочности при сжатии модифицированного порообразователем цементного камня при различных температурах

Номер образца	Прочность цементного камня, испытанного при разной температуре, МПа			
	0°С	20°С	40°С	60°С
1	22,3	23,7	24,1	25,2
1.1	20,6	23,2	23,7	24,7
1.2	15,6	21,6	21,7	21,9
1.3	14,1	17,4	18,6	19,8
2	23,8	25,0	25,7	26,4
2.1	28,0	29,2	34,6	36,0
2.2	17,7	20,4	20,9	21,4
2.3	14,4	14,3	18,4	19,2

Как видно из таблиц, в случае повышения температуры испытаний наблюдается существенное повышение предела прочности при сжатии модифицированного порообразователем цементного камня. Несмотря на значительное увеличение предела прочности при сжатии модифицированного порообразователем цементного камня при повышении температуры, этот фактор не способен перекрыть прочность материала и этот эффект будет значительнее при исключении воздействия температурного фактора.

Установленные факторы насыщения жидкостями с различными динамическими вязкостями и температурами модифицированного порообразователем цементного камня, которые имеют непосредственное влияние, как один из физических факторов, в процессе коррозии цементного камня и бетона, должны найти свое применение в математических моделях самого процесса коррозии цементных бетонов [7–11].

Список литературы

1. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. С. 3–16.

Выводы

Исследование влияния коэффициента насыщенности пор жидкостью и динамической вязкости жидкости, насыщающей поры и капилляры, на прочность модифицированного порообразователем цементного камня показало общую тенденцию увеличения предела прочности при сжатии пропорционально динамической вязкости жидкости. Таким образом, жидкость в порах бетонного композита перераспределяет нормальные и касательные напряжения; чем выше вязкость пропиточной жидкости, тем больше предел прочности при сжатии образцов. Насыщение порового пространства образцов из модифицированного порообразователем цементного камня водой, несмотря на провоцируемое ею вязкое сопротивление выжимания из пор и капилляров, вследствие преобладающего влияния адсорбционного эффекта, уменьшает значения предела прочности при сжатии таких образцов.

2. Наконечный А. С., Мельниченко П. А., Мчедлов-Петросян О. П. Влияние водонасыщения бетона на его прочность при динамических нагружениях // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 68. Л.: Энергия, 1971. С. 86–90.

3. Glucklich J., Korin U. Effect Moisture Content on Strength and Strain energy release Rate of Cement Mortar // *Journal of the American Ceramic Society*, 1975, issue 58. pp. 11–12.

4. Тетельмин В. В. Физические основы «запаздывающей упругости» арочных плотин // *Гидротехническое строительство*. 2014. № 3. С. 36–42.

5. Малюк В. В. Концепция долговечности бетона для прогноза срока службы конструкций в условиях морозного воздействия // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2020. № 4 (45). С. 105–115.

6. Гуляев В. Т., Мальцев Д. В. Водонасыщение бетонных образцов в камере давления // *Вологодские чтения*. 2012. № 80. С. 28–29.

7. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Оценка влияния параметров массопереноса на кинетику и динамику процессов, протекающих при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии*. 2018. № 1. С. 14–22.

8. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. electronic edition. Vladivostok, 2018, pp. 042–048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048.

9. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2017, vol. 13, issue 2, pp. 45–49.

10. Математическое моделирование массопереноса в системе «цементный бетон - жидкая среда», лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Строительные материалы*. 2021. № 7. С. 4–9.

11. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко [и др.] // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 44–47.

References

1. Rebinder P. A. *Fiziko-himicheskaja mehanika dispersnyh struktur* [Physical and chemical mechanics of disperse structures]. M.: Nauka, 1966, pp. 3–16.

2. Nakonechnyj A. C., Mel'nichenko P. A., Mchedlov-Petrosjan O. P. Vlijanie vodonasysshhenija betona na ego prochnost' pri dinamicheskikh nagruženijah [Influence of water saturation of concrete on its strength under dynamic loading]. *Trudy koordinacionnyh soveshhanij po gidrotehnike*, issue 68, L.: Jenergija, 1971, pp. 86–90.

3. Glucklich J., Korin U. Effect Moisture Content on Strength and Strain energy release Rate of Cement Mortar // *Journal of the American Ceramic Society*, 1975, issue 58. pp. 11–12.

4. Tetel'min V. V. Fizicheskie osnovy «zapazdyvajushhej uprugosti» arochnyh plotin [Physical foundations of «retarded elasticity» of arch dams]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*, 2014, issue 3, pp. 3642.

5. Maljuk V. V. Konceptija dolgovechnosti betona dlja prognoza sroka sluzhby konstrukcij v uslovijah moroznogo vozdejstvija [The concept of concrete durability for predicting the service life of structures under frost conditions]. *Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*, 2020, vol. 4 (45), pp. 105–115.

6. Guljaev V. T., Mal'cev D. V. Vodonasysshenie betonnyh obrazcov v kamere davlenija [Water saturation of concrete samples in the pressure chamber]. *Vologdinskie chtenija*, 2012, issue 80, pp. 28–29.

7. Fedosov S. V., Rumjanceva V. E., Krasil'nikov I. V. Ocenka vlijanija parametrov massopere nosa na kinetiku i dinamiku processov, protekajushhih pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Evaluation of the influence of mass transfer parameters on the kinetics and dynamics of processes occurring during liquid corrosion of the first type of cement concrete]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Materialy. Konstrukcii. Tehnologii*, 2018, issue 1, pp. 14–22.

8. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. electronic edition. Vladivostok, 2018, pp. 042–048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048.

9. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *International Journal for Computational Civil and*

Structural Engineering, 2017, vol. 13, issue 2, pp. 45–49.

10. Matematicheskoe modelirovanie mas-sopere-nosa v sisteme «cementnyj beton - zhidka-ja sreda», limitiruемого vnutrennej diffuziej perenosimogo komponenta pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida [Mathematical modeling of mass transfer in the «cement concrete - liquid medium» system, limited by internal diffusion of the transferred component during liquid corrosion of the first type] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva,

I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*. 2021, issue 7, pp. 4–9.

11. Teoreticheskie i jeksperimental'nye is-sledovaniya processov korrozii pervogo vida ce-mentnyh betonov pri nalichii vnutrennego isto-chnika massy [Theoretical and experimental stud-ies of corrosion processes of the first type of ce-ment concrete in the presence of an internal source of mass] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, N. S. Kas'janenko [et al.]. *Stroitel'nye materialy*. 2013, issue 6, pp. 44–47.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор
E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: varrym@gmail.com

Красильников Игорь Викторович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, доцент, руководитель центра научно-исследовательских работ
и технической экспертизы
E-mail: korasb@mail.ru

Krasilnikov Igor Viktorovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, docent, Head of the Center for Research and Technical Expertise
E-mail: korasb@mail.ru

Красильникова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир
ассистент

E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Krasilnikova Irina Aleksandrovna

Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir
Assistant

E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Строкин Константин Борисович

доктор экономических наук, доцент, почетный строитель Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

директор Технического нефтегазового института

профессор кафедры строительства

E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

Doctor of Economics, Associate Professor, Honorary Builder of the Russian Federation

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

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

Director of the technical oil and gas institute

Professor of the department of construction

E-mail: strokin07@rambler.ru

Новикова Ульяна Александровна

Сахалинский государственный университет,

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

старший преподаватель

E-mail: uliana.a.novikova@gmail.com

Novikova Ulyana Alexandrovna

Sakhalin State University,

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

Senior Lecturer

E-mail: uliana.a.novikova@gmail.com

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальности журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

• формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликации) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Формулы нумеруют в круглых скобках по правому краю страницы;

- в тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на таблицы, рисунки, графики;
- графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них.

Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обяза-

тельно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымопроницаемой мембраны в сложенном состоянии;
- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;
- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;
- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;
- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: **Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;**
- единственная в статье таблица не нумеруется: **Таблица. Анализ оборудования для подачи воздушно-механической пены;**
- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;
- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;
- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

– список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;

– список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

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. 5-71; e-mail: journal@edufire37.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 2 (43), 2022

Подписано в печать 23.06.2022 г. Формат 60 × 90 1/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 19,25. Тираж 100 экз. Заказ № 83.

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. 571; e-mail: journal@edufire37.ru

Отпечатано в АО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90