

ISSN 2658-6223

Управление в социальных
и экономических 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»

№ 4 (37), 2020



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)
Шкифоров 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») ФГБОУ ВО 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», г. Москва

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 основ гражданской обороны и управления в ЧС ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС 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)

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

Румянцева Варвара Евгеньевна – д-р техн. наук, профессор, 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 ФГБОУ ВО 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») ФГБОУ ВО 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: *Шмелева Юлия Владимировна*

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 94015.

Подписано в печать 07.12.2020 г. Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 21,6. Тираж 100 экз. Заказ №77.

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) 34-38-18; e-mail: journal@edufire37.ru

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS (TECHNICAL)**

Горина С. В., Тихановская Л. Б. Адаптация образовательного процесса в учебных заведениях МЧС России под воздействием факторов внешней среды 6
Gorinova S. V., Tikhonovskaya L. B. Adapting the educational process influenced by environmental factors in the Ministry of Emergency situations of Russia 6

Ермилов А. В., Белорожев О. Н. Технология деятельности начальника караула и пути ее реализации в профессиональной подготовке курсантов образовательных организаций МЧС России 14
Ermilov A. V., Belorozhev O. N. Technology activities of the guard and the ways of its realization in vocational training of cadets of educational institutions of Emercom of Russia 14

Кузнецов А. В., Тараканов Д. В., Баканов М. О., Суrowегин А. В. Информационные ресурсы системы мониторинга крупных пожаров на объектах энергетики 24
Kuznetsov A. V., Tarakanov D. V., Bakanov M. O., Surovegin A. V. Information resources of the system for monitoring large fires at energy objects 24

Пушина Л. Ю., Закинчак А. И. Социально-экономическое развитие: смысл понятия и его применение в контексте исследования проблем обеспечения безопасности 33
Pushina L. Yu., Zakinchak A. I. Socio-economic development: the meaning of the concept and its application in the context of researching security problems 33

Шипилов Р. М., Казанцев С. Г., Захаров Д. Ю., Семенов А. О. Анализ нормативных заданий для управления профессиональной подготовкой пожарных на примере зарубежных стран 43
Shipilov R. M., Kazantsev S. G., Zakharov D. Yu., Semenov A. O. Overview of regulatory tasks for fire-building training for fire-fighters on the example of foreign countries 43

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

Захаров Д. Е., Натареев С. В., Снегирев Д. Г. Очистка сточных вод на катионите из отходов древесины и хитозана в ионитовом фильтре при чрезвычайных ситуациях 56
Zaharov D. E., Natareev S. V., Snegirev D. G. Wastewater treatment using a cation exchange resin from wood waste and chitosan in an ion exchange resin filter in emergency situations 56

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

Строкин К. Б., Новиков Д. Г., Коновалова В. С., Логинова С. А., Нармания Б. Е. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из железобетона в условиях микробиологической коррозии 62
Strokin K. B., Novikov D. G., Konovalova V. S., Loginova S. A., Narmaniya B. E. Determination of safe service life of structures made of reinforced concrete at microbially induced corrosion 62

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

Ефремов А. М., Хонгорова О. В., Снегирев Д. Г. Разработка научных основ утилизации экологически опасных фторуглеродных газов в низкотемпературной плазме 70
Efremov A. M., Khongorova O. V., Snegirev D. G. Development of scientific foundations for the disposal of environmentally hazardous fluorocarbon gases in low-temperature plasma 70

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

- Бубнов В. Б., Елин Н. Н., Репин Д. С., Хазова И. В.** Моделирование и расчет противопожарных водопроводов при низких отрицательных температурах 78
Bubnov V. B., Yelin N. N., Repin D. S., Khazova I. V. Simulation and calculation of fire water pipes at low negative temperatures 78
- Винокуров М. В., Краснов И. А., Кичайкин В. В., Ниткин А. Н., Чумаков Е. С., Белов Д. С.** Разработка учебно-тренажерного полигона для формирования практических умений и навыков проведения аварийно-спасательных работ в условиях ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся обрушением строительных конструкций, разрушением инженерных и технологических коммуникаций «Сталкер» 85
Vinokurov M. V., Krasnov I. A., Kichaykin V. V., Nitkin A. N., Chumakov E. S., Belov D. S. The development of a training ground for the formation of practical skills of carrying out of rescue works in conditions of limited space and visibility for fire fighting and emergencies, accompanied by collapse of building structures, destruction of engineering and technology of communications «Stalker» 85
- Лебедева Н. Ш., Таратанов Н. А.** Добавки к огнетушащим средствам на основе кремнеземов, повышающие устойчивость пены..... 95
Lebedeva N. Sh., Taratanov N. A. Additives to fire extinguishing agents based on silica that increase the stability of foam 95
- Лоран Н. М., Циркина О. Г., Пустовалов И. А.** Исследование эксплуатационных характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия, модифицированного углеродными наноструктурами ... 104
Loran N. M., Tsirkina O. G., Pustovalov I. A. Improvement of fire protective efficiency of the integrated fire protective coating by modification of carbon nanostructures 104
- Никифоров А. Л., Циркина О. Г., Ульева С. Н., Спиридонова В. Г.** Обеспечение пожарной безопасности технологических процессов переработки полимерных материалов на ВЧ/СВЧ-оборудовании..... 111
Nikiforov A. L., Tsirkina O. G., Ulieva S. N., Spiridonova V. G. Ensuring fire safety of technological processes for processing polymer materials HF/microwave equipment 111
- Пашкова Т. В., Александров А. И., Есина М. Г., Хонгорова О. В.** Анализ возможности создания термически стойких полимерных пленок некоторых фенилбензоатов по структуре их низкомолекулярных соединений для обеспечения безопасности при технологических процессах ... 118
Pashkova T. V., Alexandrov A. I., Esina M. G., Khongorova O. V. Analysis of the possibility of creating thermally resistant polymer films of some phenylbenzoates by the structure of their low-molecular compounds to ensure safety in technological processes 118
- Покровский А. А., Кропотова Н. А.** Исследование пожаробезопасного процесса удаления растворителя из основы синтетической кожи промышленным способом..... 126
Pokrovsky A. A., Kropotova N. A. Investigation of a fireproof process for removing a solvent from a base of synthetic leather by an industrial method 126
- Присадков В. И., Абашкин А. А., Зуева А. С., Мусласова С. В., Ушаков Д. В., Присадков К. В.** Особенности обеспечения пожарной безопасности исторических зданий с многоуровневыми антресолями..... 135
Prisadkov V. I., Abashkin A. A., Zueva A. S., Muslakova S. V., Ushakov D. V., Prisadkov K. V. Fire safety features historic buildings with multi-level mezzanines 135
- Семенов А. Д., Бочкарев А. Н., Кнутов М. С.** Влияние способа заправки пенобака на время приведения пожарного автомобиля в готовность после пожара 143
Semenov A. D., Bochkaev A. N., Knutov M. S. Influence of the method of filling the foam tank on the time of bringing the fire truck to readiness after a fire 143

Сушко Е. А., Каргашилов Д. В., Кузовлев А. В. Об особенностях расчёта сил и средств при тушении пожаров.....	150
Sushko E. A., Kargashilov D. V., Kuzovlev A. V. About features of calculation of forces and means at fire extinguishing.....	150
Таратанов Н. А., Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Исследование копоти при горении нефтепродуктов методом флуоресцентной спектроскопии в целях судебной пожарно-технической экспертизы.....	154
Taratanov N. A., Storonkina O. E., Mochalova T. A. Research of the copy during the combustion of petroleum products by the method of fluorescent spectroscopy for the purpose of forensic fire expertise ..	154
Федоринов А. С., Одинцова О. И., Владимирцева Е. Л., Смирнова С. В., Демидов Р. Н., Шилкина В. С. Вопросы придания огнестойкости материалам из целлюлозных и полиамидных волокон с применением отечественных препаратов	160
Fedorinov A. S., Odintsova O. I., Vladimirtseva E. L., Smirnova S. V., Demidov R. N., Shilkina V. S. Questions of giving fire resistance to materials from cellulose and polyamide fibers with the application of domestic preparations	160
Чеснокова Л. Н., Фролова Т. В., Иваненко О. С., Карасев Е. В. Современные исследования огнетушащих порошков ABC.....	167
Chesnokova L. N., Frolova T. V., Ivanenko O. S., Karasev E. V. Contemporary researches of extinguishing powders ABC.....	167

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS (TECHNICAL)**

УДК 378.146:65.012.74

**АДАПТАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ
МЧС РОССИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ**

С. В. ГОРИНОВА, Л. Б. ТИХАНОВСКАЯ

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

В статье предложен механизм трансформирования системы подготовки специалистов пожарно-технического профиля, обеспечивающий адаптацию практико-ориентированного учебно-воспитательного процесса в учебных заведениях МЧС России. Вызовы, которые возникли в последнее время перед системой высшего профессионального образования в целом и перед государственными образовательными учреждениями в частности обусловлены воздействием как внешних, так и внутренних факторов. Рассматривая внешние факторы, авторы отмечают ускорение научно-технического прогресса в направлении информатизации социально-экономической деятельности, изменение и упорядочение квалификационных требований как со стороны работодателей, так и со стороны государственных органов управления, рост глобальных угроз безопасности и распространение дистантных образовательных технологий. Обеспечить гибкое реагирование образовательного учреждения на эти вызовы можно, лишь регулярно осуществляя процессы целевой эффективной адаптации. Проведенная работа ориентирована на повышение уровня адаптивности образовательной среды учебных заведений МЧС России.

Ключевые слова: образовательный процесс, подготовка специалистов пожарно-технического профиля, адаптация процесса, факторы внешней среды, практико-ориентированное обучение.

**ADAPTING THE EDUCATIONAL PROCESS INFLUENCED BY ENVIRONMENTAL
FACTORS IN THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA**

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 proposes a mechanism for transforming the system of training of fire-technical specialists, which ensures the adaptation of the practice-oriented educational process in the educational institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia. The challenges that have arisen recently to the system of higher vocational education in general and to public educational institutions in particular are caused by the impact of both external and internal factors. Looking at external factors, the authors note the acceleration of scientific and technological progress towards informatization of social and economic activity, the change and streamlining of qualification requirements by both employers and government governments, the growth of global security threats and the spread of distant educational technologies. It is only through regular targeted adaptation processes that the educational institution responds to these challenges on a regular basis. It is only through regular targeted adaptation processes that the educational institution responds to these challenges on a regular basis. The work is aimed at improving the level of adaptability of the educational environment of the Russian Ministry of Emergency Situations.

Key words: educational process, training of fire-technical specialists, process adaptation, environmental factors, practice-oriented training.

Исследование воздействия факторов внешней среды на образовательный процесс, проведенное с применением методов наблюдения, сравнительной оценки и анализа предполагало выполнение таких последовательных действий как обозначение границ среды; выделение факторов прямого и косвенного воздействия; определение сфер наиболее вероятных изменений, возникающих новых угроз и возможностей; попарное сопоставление факторов внешней среды и анализ их значимости с точки зрения реальности угроз, связанных с изменении среды [1].

Факторы внешней среды рассматривались в сферах: технологий, рынка ресурсов, рынка труда, научно-технического прогресса, коммуникаций. Анализ внешней среды образовательного учреждения имел целью предвидение потенциальных угроз и обеспечение возможностей оценки будущего состояния образовательной организации и принятия стратегических решений с учетом важнейших факторов. Когда воздействия имеют случайный характер, то система управления организацией выводится из равновесного состояния, нарушается её устойчивость. А таких условиях эффективное управление обязано выбрать способ реагирования на воздействия внешней среды, установить необходимые параметры устойчивости. Тогда стратегическое управление есть постоянная и упреждающая реакция на изменения, вызовы и угрозы внешней среды, то есть адаптация.

Для изучения адаптационных процессов применим системный подход, предполагающий, что все явления, предметы, процессы и отношения являющиеся единым отражением целостного пространства, обладающего определенной структурой. Согласно методологии системного подхода установим, что адаптивная система образовательной организации всегда принадлежит к классу функциональных, открытых, иерархически организованных и самоуправляемых систем, функционирующих на основе принципов информационной связи в прямом и обратном направлении. Адаптивность же сложной самоуправляемой системы – это её неотъемлемое атрибутивное свойство и функциональный признак. Отмечают следующие основные признаки адаптивных самоуправляемых систем:

- целостность,
- относительная устойчивость,
- неоднозначность связей во внешней среде,

- планомерность и целенаправленность процессов самоуправления,
- наличие активного отображения,
- саморазвитие [2].

Следовательно, в силу специфики, характера взаимодействия систем и подсистем в процессе адаптации можно вести речь о степени адаптированности системы и уровне её потенциальной гибкости. Организация управления должна поддерживать готовность к изменениям. Существует множество положительных практик управления, обеспечивающих необходимый уровень адаптивности [3, 4, 5].

Чтобы образовательная среда учебного заведения МЧС России была гибкой и адаптивной, должен использоваться интеллектуальный потенциал всех работников и сотрудников в процессе их взаимодействия и создания постоянной цепочки знаний, которые могут быстро распространяться и применяться по нужным направлениям. Это условие актуально не только по отношению к обучающимся, но и к изменениям в образовательных и профессиональных стандартах, так как в основе обучения лежат именно они, также учебное заведение при необходимости должно вносить корректировки в учебный процесс. Более того, в связи с тем, что вуз находится в тесном контакте с комплекующими органами и департаментом кадровой политики МЧС России, должна быть также оперативная реакция на их потребности [2]. Реакция на требования комплекующих органов позволяют обеспечить переход от «образования на всю жизнь» к непрерывному образованию «образование в течение всей жизни». Данные изменения создают преемственность всех уровней системы образования (например, преемственность образования, полученного в учебном заведении МЧС России в структурных подразделениях, а также при дальнейшем повышении квалификации в процессе службы или переподготовки при дефиците специалистов).

На масштаб проблем, возникающих в образовательной политике, ученые неоднократно обращали своё внимание, указывая на необходимость и важность улучшения качества образования. Во всех ведущих странах прошли образовательные реформы, были выделены немалые средства. Основные усилия направлялись на повышение результативности образовательных программ процессов. Трансформация образования, как экономической сферы деятельности, предполагает постоянное обновление образовательных продуктов,

содержания процессов образования, обновления методов и организационных форм, а также процедур оценивания достигнутых образовательных результатов в условиях быстроразвивающейся цифровой среды. Решение этой проблемы невозможно без преобразований систем управления, как на уровне министерств и ведомств, так и на уровне организаций, реализующих конкретные образовательные программы.

В период трансформации систем, обеспечивающих образовательные процессы, особенно важно уделять внимание подсистемам управления учебной организацией. Необходимо обеспечить такой уровень такой уровень гибкости образовательного процесса, при котором результат отвечает требованиям внешней среды к формированию у обучаемых собственной активной внутренней мотивации, устойчивого познавательного интереса, мышления, творческих способностей, при этом уровень управляемости образовательными структурами должен сохраняться.

Процесс трансформации образования предполагает формирование и распространение новых моделей и процессов в образовательных организациях, что обеспечивается синтезом четырех подпроцессов: распространение высокорезультативных педагогических практик; профессиональное совершенствование профессорско-преподавательского состава; постоянное обновление информационных источников, а так же цифровых сервисов и инструментов; создание организационных условий для осуществления преобразований. В качестве ограничений трансформации рассматривают как физические ресурсы (в т.ч. и материальную базу реализации данного процесса), так и организационную культуру, как внутренний фактор развития организации.

Для обозначения организаций, готовых и успешно проводящих такую трансформацию используется термин «саморазвивающаяся организация». Это особый тип адаптивной системы, в которой регулярно и эффективно осуществляются (с использованием принципов самообучения и саморазвития) процессы целевой адаптации, направленные на обеспечение со временем роста ее упорядоченности и организованности в соответствии с выбранным критерием развития» [4].

В целевой адаптации принято выделять 2 уровня. Рассмотрим их функционирование на рис. 1. Первый уровень ориентирован на достижение ранее сформулированной детерминированной цели. Второй уровень предполагает реагирование на изменения за счет особого контура целевой адаптации, в котором анализируется внешняя среда на предмет вы-

явления допустимых решений из ограниченно-го множества возможных целевых решений.

В современных социально-экономических условиях и развитой информационной системой управлять изменениями необходимо регулируя факторы риска на различных уровнях системы управления организацией, учитывая, что риск можно определить как адекватную оценку уровня неопределённости. В ходе реализации образовательного процесса возможность проявления отдельных j факторов внешней среды S_j приводит к различным отклонениям протекания управляемого процесса, в результате чего предполагаемые результаты R_{kl} будут отклоняться от ожидаемого результата. Для возвращения процесса к требуемым параметрам следует сформировать многомерную адаптационную систему. В ней применим идеи адаптации как в процессном, так и в институциональном разрезах менеджмента.

В первом случае речь пойдет о координации образовательных процессов, результатом которых является сформированность профессиональных компетенций будущими специалистами МЧС России. В настоящее время в системе профессионального образования специалистов системы МЧС России компетентность занимает центральное место как основополагающая категория профессиональной подготовки кадров в образовательном учреждении МЧС России. Ведущими элементами процесса формирования профессиональной компетентности являются его субъекты (постоянный состав) и объекты (переменный состав) [2]. Процессная адаптация подразумевает целенаправленное, содержательно насыщенное и организационно оформленное воздействие на основные его параметры (R_m), определяемые образовательной программой и процедурами её реализации. В этом случае для обеспечения системного подхода целесообразно вести речь о параметрической адаптации.

Во втором случае можно говорить о структурной адаптации. Она связана с организационно-управленческими действиями в функциональном разрезе (перераспределении ролей) и проявляется совершенствованием организационной структуры системы управления.

Для успешного прохождения процесса адаптации следует учитывать условия:

- актуализация процедур накопления профессиональных компетенций с учетом изменяющихся требований и ожиданий образовательной среды вуза;

- реализация внутренних возможностей образовательной среды организации для

самореализации личности обучаемых в учебной, внеучебной и служебной деятельности;

- обеспечение развития у обучаемых способности эффективного применения в практической деятельности системы профессиональных знаний, умений и навыков в соответствии с должностным предназначением будущих выпускников

- формирование профессиональных компетенций будущих сотрудников МЧС России должно осуществляться поступательно, по модели некоторой «пирамиды компетенций» в

основании которого находится матрица компетенций базового уровня (УК), затем специализации (ОПК), обусловленной спецификой отрасли (наличие узкопрофильных знаний) и внутренних технологий (ПК). Образовательная среда в этом случае выступает как основное координирующее начало. Поэтому очень важно, чтобы образовательное учреждение не только контролировало и регулировало проблемные процессы, но и не допускало со своей стороны возникновения новых.

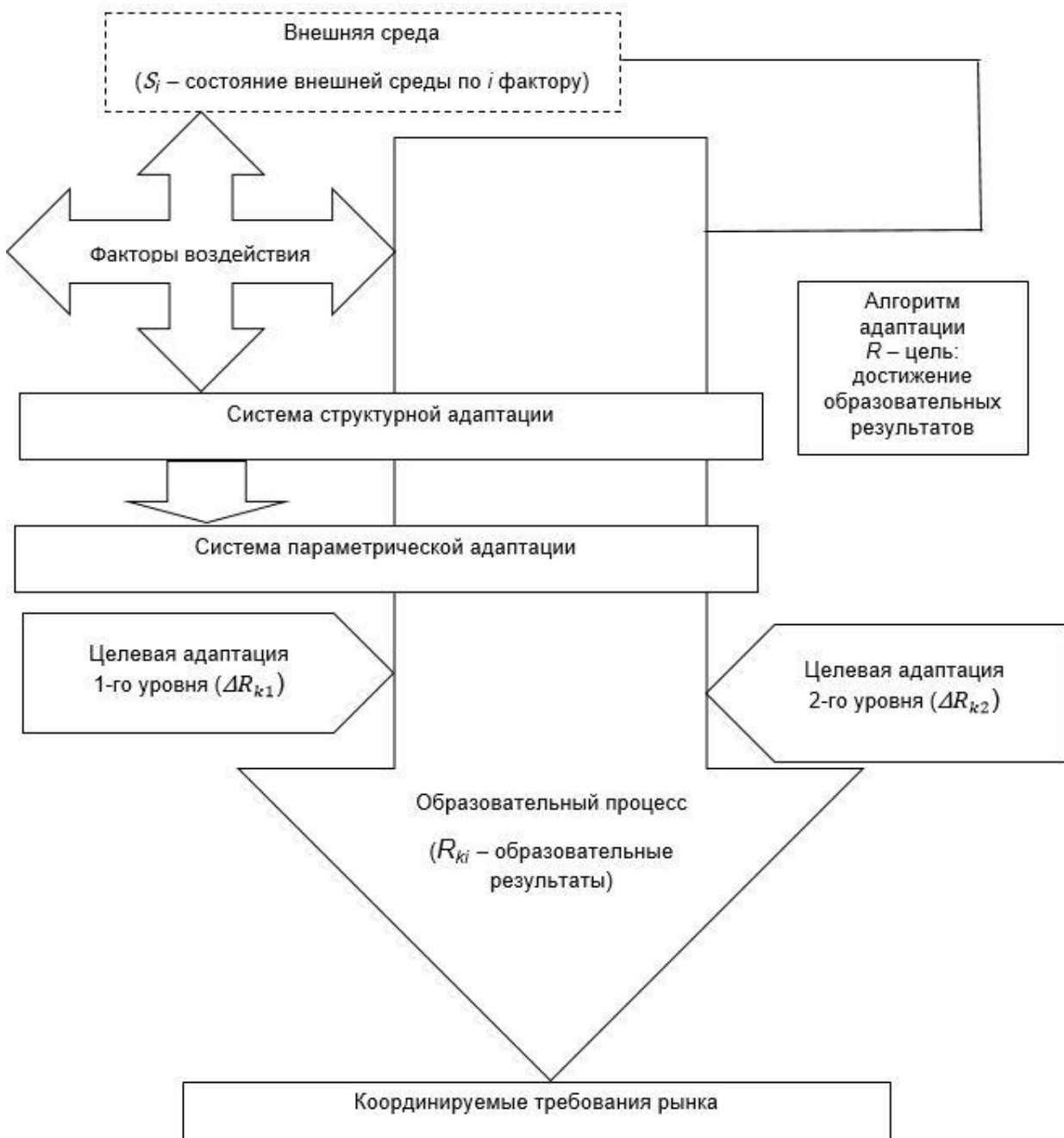


Рис. 1. Схема адаптивного управления образовательным процессом

Исследование влияния отдельных факторов на неопределенность внешней среды показывает, что ускорение научно-технического прогресса в направлении информатизации социально-экономической деятельности выдвигает требования к особым, информационным знаниям и навыкам каждого выпускника, с другой стороны – появляются новые возможности и у образовательного процесса. В последние десятилетия глобального реформирования системы образования происходят постоянные изменения и упорядочение квалификационных требований как со стороны работодателей, так и со стороны государственных органов управления, что влияет на перестройку внутренней образовательной среды. Еще один фактор – рост глобальных угроз безопасности способствовал увеличению спроса на ряд образовательных программ подготовки специалистов в области права, экспертной деятельности, военного дела. Факт распространения дистантных образовательных технологий стал последствием объединения двух последних факторов. Заметим, что нестабильность во внешней среде порождает неопределенности и риски различного вида. В этих условиях повышается роль адаптивного управления, которое предполагает разработку адекватных сценариев поведения, обоснование и выбор альтернатив реализации управляемых процессов.

В настоящее время существуют различные подходы к адаптации профессионально-ориентированной образовательной среды, при этом модели управления образовательным процессом направлены на реализацию следующих адаптационных программ:

- реализация принципов практико-ориентированного образования путем усиления практической составляющей в части организации учебной, производственной и преддипломной практик с привлечением работодателей, которые становятся заинтересованными в том, что бы привести представление обучаемого о профессии в соответствие с требованиями, предъявляемыми реальным сектором экономики и обеспечения трехстороннего взаимодействия заинтересованных в образовательных услугах сторон;

- использование профессионально-ориентированных программ и технологий, способствующих формированию у обучающихся важных профессиональных качеств, знаний, умений и навыков;

- переход на частичное и полное дистанционное обучение с применением специальных информационных обучающих платформ, приращение системы образования новыми виртуальными организациями;

- налаживание междисциплинарных связей практико-ориентированной образовательной среды с представителями работодателей и заказчиков образовательных услуг в процессе реализации основных и дополнительных образовательных программ, в которые включены интерактивные технологии для лучшей реализации возможностей в освоении профессиональных навыков и умений.

Как видим, целью повышения адаптивности является минимизация последствий воздействия случайных или неконтролируемых факторов. Большое значение при этом имеет снижение уровня неопределенности за счет большей осведомленности о состоянии и развитии ситуаций во внешней среде. Адаптивность образовательного учреждения обеспечивается способностью к обновлению образовательных технологий, увеличению разнообразия программ, развитию структуры и инфраструктуры управления.

В рамках целевой адаптации 2-го уровня усилия должны быть сосредоточены на изменении самой структуры системы управления организацией. Изменения в организационной структуре – достаточно болезненный процесс, связанный с реформатированием управленческих функций в части исполнения и ответственности. Меняются и взаимодействия подразделений и их руководителей. Разные типы структур управления по-разному откликаются на адаптационные процессы. Оценивая соответствие линейно-функциональной структуры управления, как наиболее распространенной в образовательных учреждениях МЧС России, идеям адаптивного управления можно заметить наличие множество препятствий.

Адаптивность требует от организаций не просто готовность к любым изменениям, но и способность самой подвергаться изменениям. Если же число образовательных программ, основных и вспомогательных направлений деятельности велико, то количество структурных подразделений велико, тогда необходимость координации усложнит конкретные управленческие функции или потребует создания дополнительных координационных подразделений для каждого направления. В качестве примера можно привести необходимость координации направления дистанционных образовательных технологий. Матричные структуры управления более приспособлены к адаптации. В них координирующие органы формируются из представителей или руководителей соответствующих направлений деятельности. Рассмотрим координационные программы образовательной организации, где функциональные подразделения сгруппированы по видам образовательного продукта, по типам потреби-

телей образовательных услуг, местам комплектования и т.д. На рис. 2 представлена схема адаптации образовательного процесса.

Координация требований рынка труда происходит опосредованно через взаимодействие с заказчиком (для Ивановской пожарно-спасательной академии – в лице органов управления и пожарно-спасательных подразделений ГПС МЧС России). Вопрос согласования с работодателем качества образовательных результатов имеет важное значение для руководства и профессорско-преподавательского состава образовательных организаций высшего образования МЧС России. На основании получаемых с мест комплектования отзывов и выявляемых проблемных вопросов в области подготовки выпускников в образова-

тельных организациях проводится работа по совершенствованию учебного и учебно-воспитательного процесса, что также немало важно для дальнейшей адаптации молодого специалиста вне стен образовательного учреждения. На этом примере можно отметить информационно-ориентирующую функцию адаптации, задача которой заключается не столько сборе и обработке информации, сколько в том, чтобы сориентировать управленческие действия и на соблюдение интересов заказчика образовательной услуги, и на достижение основных целей организации, в конечном итоге направив деятельность на эффективную подготовку специалиста МЧС России.

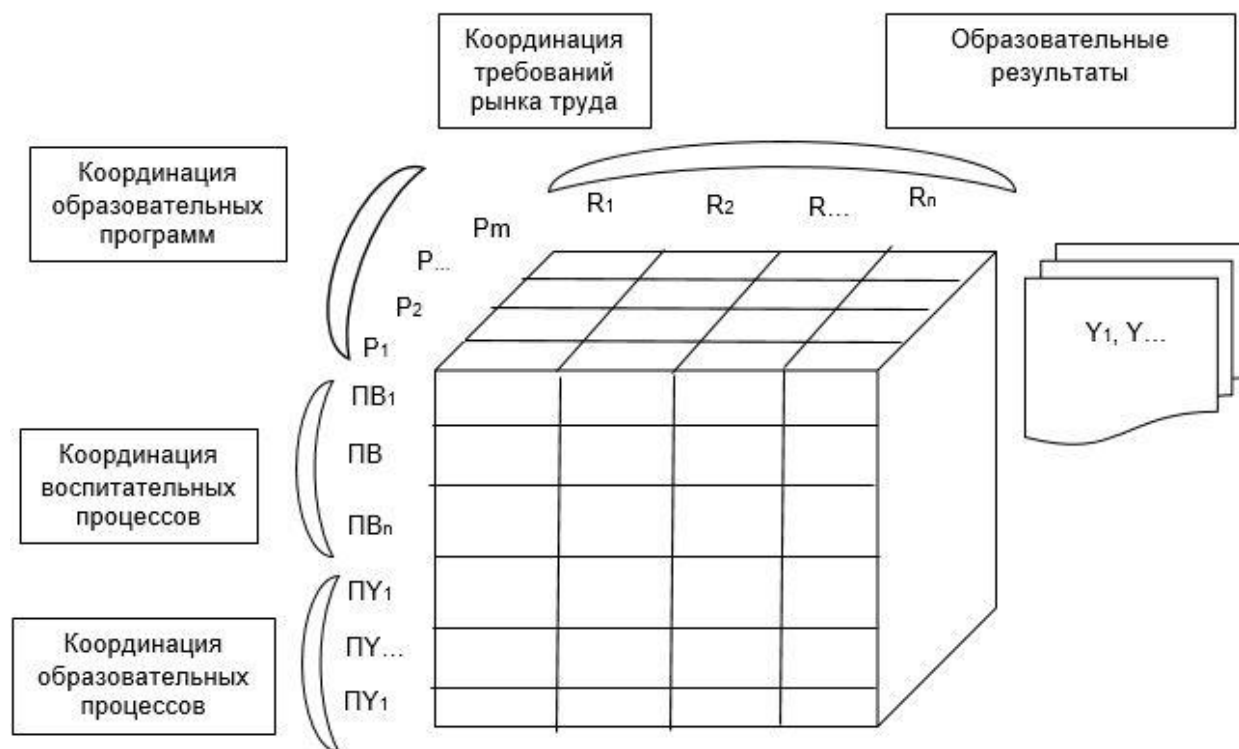


Рис. 2. Схема адаптации образовательного процесса

Адаптация образовательного процесса предполагает целенаправленное воздействие на факторы внешней среды, от состояния которых зависит деятельность образовательной организации, а значит, необходимо установить критерии оценивания такого воздействия через систему показателей, включающей в себя ряд прогнозных индикаторов, отслеживающих условия развития образовательного процесса. Показатели эффективности адаптации к кон-

кретным изменениям необходимо отслеживать применительно к условиям и задачам каждого подразделения. Система показателей должна обладать итеративностью – по мере изменений внешних воздействий, условий функционирования и по мере развития внутренней образовательной среды, должны меняться и показатели.

Таким образом, адаптация образовательного процесса является ключевым условием качественной подготовки специалистов МЧС России. Многоуровневая адаптация обеспечивает взаимодействие всех заинтересованных участников и адекватную реакцию образовательного учреждения на факторы внешней среды. Показано, что при повышении неопределенности и нестабильности воздействия факторов повышается роль адаптивного управления. Рассматривая адаптацию образовательного процесса в учебных заведениях

МЧС России под воздействием факторов внешней среды была предложена многоуровневая адаптационная система, обеспечивающая координацию воспитательного и образовательного подпроцессов с требованиями потребителя в лице комплектующих органов. Целевая адаптация, реализуемая в процессном и организационно-управленческом аспекте будет способствовать долгосрочной конкурентоспособности, что обеспечит прочное и устойчивое положение образовательной организации на рынке образовательных услуг.

Список литературы

1. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / А. Ю. Уваров, Э. Гейбл, И. В. Дворецкая [и др.]; под ред. А. Ю. Уварова, И. Д. Фрумина; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», Ин-т образования. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 343 с.
2. Мальный И. А., Горинова С. В. Проектирование практико-ориентированной среды при подготовке управленческих кадров в области пожарной безопасности, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2016. № 4. С. 136–142.
3. Караваева И. А. Управление адаптивными образовательными системами // Успехи современного естествознания. 2008. № 4. С. 116–119.
4. Маркарян Э. С. О реформировании научно-образовательной системы в контексте кризиса мировой культуры и необходимости создания идеологии гуманизма XXI века // Образование и культура. 2018. № 9. С. 51–57.
5. Максимова Н. А. Формирование адаптивной образовательной среды учебного заведения: анализ проблемы // Концепт: научно-методический электронный журнал. 2018. № 10. С. 888–898.

References

1. *Trudnosti i perspektivy cifrovoj transformacii obrazovaniya* [Difficulties and prospects of digital transformation of education] / A. Yu. Uvarov, E. Gable, I. V. Dvoretzkaya [et al.]; pod red. A. Yu. Uvarova, I. D. Frumina: Nac. issled. un-t «Vysshaya shkola ekonomiki», In-t obrazovaniya. Moscow: Izd. dom Vysshej shkoly ekonomiki, 2019. 343 p.
2. Malyj I. A., Gorinova S. V. *Proektirovanie praktiko-orientirovannoj sredy pri podgotovke upravlencheskih kadrov v oblasti pozharnoj bezopasnosti, zashchity naseleniya i territorij ot chrezvychajnyh situacij* [Designing a practice-oriented environment for the training of management personnel in the field of fire safety, protection of the population and territories from emergency situations]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2016, issue 4, pp. 136–142.
3. Karavaeva I. A. *Upravlenie adaptivnymi obrazovatel'nymi sistemami* [Management of adaptive education systems]. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya*, 2008, issue 4, pp. 116–119.
4. Markaryan E. S. *O reformirovanii nauchno-obrazovatel'noj sistemy v kontekste krizisa mirovoj kul'tury i neobhodimosti sozdaniya ideologii gumanizma XXI veka* [Reforming the scientific and educational system in the context of the crisis of world culture and the need to create the ideology of humanism of the XXI century]. *Obrazovanie i kul'tura*, 2018, issue 9, pp. 51–57.

Горинова Светлана Владимировна

ФГБОУ ВО 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

ФГБОУ ВО 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 378.365.5

ТЕХНОЛОГИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАЧАЛЬНИКА КАРАУЛА И ПУТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ КУРСАНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ МЧС РОССИИ

А. В. ЕРМИЛОВ, О. Н. БЕЛОРОЖЕВ

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

Успешность и оперативность реализации основной боевой задачи выпускником вуза МЧС России заключается в его подготовленности и развитости профессионально значимых качеств, обеспечивающих деятельность. Особенности профессиональной деятельности в ситуации риска диктуют необходимость организации специальной подготовки курсантов в рамках Боевого устава подразделений пожарной охраны.

С целью совершенствования учебно-воспитательного процесса в вузе МЧС России нами произведен анализ технологии функциональной деятельности сотрудника, выступающего в должности начальника караула на месте вызова. Результат анализа позволил подчеркнуть, что в основе технологии деятельности начальника караула, также лежит деятельность номеров расчета на пожарном автомобиле и деятельность взаимовыручки и взаимодействия. В рамках данного аспекта авторами выделены операциональные действия, которые являются ориентиром создания и моделирования учебной профессиональной ситуации. При решении данных ситуаций курсант будет накапливать практический опыт реализации технологии начальника караула на высоком уровне мастерства.

Основными направлениями реализации технологии деятельности начальника караула являются практические занятия на базе практики вуза МЧС России, а также класс ситуационного моделирования, на базе которого создаются профессиональные ситуации, содержащие высокий уровень риска.

Ключевые слова: курсант, начальник караула, номер расчета, взаимодействие, технология деятельности, профессионально значимые качества, учебная деятельность, практика.

TECHNOLOGY ACTIVITIES OF THE GUARD AND THE WAYS OF ITS REALIZATION IN VOCATIONAL TRAINING OF CADETS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF EMERCOM OF RUSSIA

A. V. ERMILOV, O. N. BELOROZHEV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: skash_666@mail.ru, beliyon@mail.ru

The success and efficiency of the implementation of the main combat mission by a graduate of the EMERCOM of Russia is in his preparedness and development of professionally significant qualities that ensure the activity. The peculiarities of professional activity in a risk situation dictate the need to organize specially trained cadets.

In order to improve the educational process at the EMERCOM of Russia higher educational institution, we analyzed the technology of the functional activity of the employee acting as the chief of the guard at the place of the call. The result of the analysis made it possible to emphasize that the activity of the chief of the guard is also based on the activity of the numbers of the calculation on the fire engine and the activity of mutual assistance and interaction. Within the framework of this aspect, the authors have identified operational actions that are a guideline for the creation and modeling of an educational professional situation.

When solving these situations, the cadet will accumulate practical experience in implementing the technology of the chief of the guard at a high level of skill.

The main ways of implementing the technology of the activity of the chief of the guard are practical exercises based on the practice of the university EMERCOM of Russia, as well as the class of situational modeling, on the basis of which professional situations containing a high level of risk are created.

Key words: cadet, head of the guard, calculation number, interaction, technology of activity, professionally significant qualities, educational activity, practice.

Введение. Как показывает практика курсанты направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (далее – бакалавр) в большинстве случаев назначаются на должности начальника караула [1]. Функциональные обязанности начальника караула реализуются при обеспечении караульной службы в пожарно-спасательной части, а также организации и тушения пожара на месте вызова. Профессиональная деятельность на месте вызова в соответствии со специализациями участников боевых действий по тушению пожара требует создания специальных условий подготовки выпускника вуза МЧС России [2; 3]. Одним из путей решения проблемы, является реализация операциональных действий начальника караула на различных этапах тушения пожара в учебной деятельности курсантов. Таким образом, в статье под операциональными действиями понимаются отдельные элементы профессиональной деятельности, которые обеспечивают поэтапную реализацию технологии ликвидации чрезвычайной ситуации.

Цель исследования. Раскрыть технологию деятельности начальника караула, как основу реализации профессиональной подготовки курсантов образовательных организаций МЧС России.

Материал и методы исследования. Производя анализ нормативных документов МЧС России¹, становится возможным выделить следующие операциональные действия начальника караула: организация выполнения основной боевой задачи; организация взаимодействия отделений возглавляемого караула; управление личным составом путем отдачи кратких и четких команд; контроль исполнения поставленных задач; контроль выполнения правил по охране труда, в том числе при работе на специальных пожарных автомобилях, с пожарным инструментом и аварийно-спасательным оборудованием; поддержание

связи со старшим должностным лицом пожарно-спасательного гарнизона на месте вызова, путем своевременного доклада об оперативной обстановке.

Если начальник караула прибывает на место вызова первым, то его деятельность охарактеризована рамками обязанностей руководителя тушения пожара. Однако, в случаях, когда руководство тушением пожара осуществляется старшим по должности сотрудником, то начальник караула докладывает ему о прибытии и поступает в его распоряжение.

Также необходимо отметить, что профессиональная деятельность начальника караула на месте вызова не может быть ограничена только должностными обязанностями, перечисленными в нормативно-правовых актах МЧС России. Данный аспект возникает вследствие необходимости наличия представлений о сущности профессиональной деятельности всех участников тушения пожара и номеров расчета в отделении на пожарном автомобиле. К ним относятся: командир отделения, водитель и пожарный.

Операциональные действия командира отделения: указывает отделению водоисточник, направление и вид развертывания сил и средств, место размещения разветвления, количество и вид стволов, позиции ствольщиков, а также места установки пожарных лестниц; контролирует исполнение поставленных задач; контролирует выполнение правил охраны труда; поддерживает связь с начальником караула; обеспечивает работу закрепленного пожарного автомобиля; при завершении сбора сил и средств проверяет наличие личного состава отделения, штатного пожарно-технического инструмента и аварийно-спасательного оборудования, докладывает начальнику караула или старшему должностному лицу о готовности пожарного расчета к убытию в пожарно-спасательное подразделение. Начальник караула и командир отделения на месте пожара обеспечивают реализацию деятельности командира звена газодымозащитной службы и газодымозащитника. Операциональные действия водителя: управляет пожарным автомобилем; устанавливает автомобиль на указанную позицию; обеспечивает

¹ 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».

возможность вывода автомобиля в безопасное место; обеспечивает эффективную и бесперебойную работу узлов и агрегатов автомобиля; контролирует запасы горюче-смазочных, других эксплуатационных материалов и огнетушащих веществ, своевременно докладывает старшему начальнику о необходимости их пополнения; выполняет техническое обслуживание закрепленного автомобиля; работает по решению начальника караула (начальника аварийно-спасательного расчета) на штатной радиостанции пожарного автомобиля².

Операциональные действия пожарного: выполняет работы по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ; спасает людей; соблюдает требования правил по охране труда; работает с прибором подачи огнетушащих веществ на позиции; отключает электропровода; поднимается (спускается) на высоту; вскрывает конструкции.

Результаты исследования и их обсуждение.

Раскрытая технология функциональной деятельности начальника караула может быть внедрена в учебную деятельность курсантов при изучении дисциплин кафедры пожарной тактики и основ пожарно-спасательных и других неотложных работ (в составе учебно-научного комплекса «Пожаротушение»). А именно, в рамках решения пожарнотактических задач на местности при изучении факультатива «Пожаротушение» в разделе

«Пожарно-тактическая подготовка», а также на практических занятиях по дисциплине «Организация пожаротушения» в классе ситуационного моделирования многофункционального учебно-тренажерного комплекса [4; 5].

Под базой практики вуза понимаются учебные места, которые обеспечивают создание ситуаций различного уровня риска. В состав базы практики входит:

- обслуживающий персонал (водители пожарных автомобилей, мастера ГДЗС и др.);
- модели объектов экономики в реальную величину, такие как гражданское здание, железнодорожный вагон, легковой и грузовой транспорт, нефтебаза и др.;
- пожарные автомобили различных модификаций и назначения;
- пожарнотехническое оборудование и инструмент;
- водоисточники;
- необходимая экипировка пожарного, в том числе средства индивидуальной защиты органов дыхания (далее – СИЗОД).

Анализ учебного процесса Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России позволил выделить количество часов, которые обеспечивают возможность внедрения функциональной деятельности начальника караула в учебную деятельность курсантов (рис. 1).

	Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»		Специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность»
	База практики	Класс ситуационного моделирования	База практики
3 семестр	—	—	4 часа
4 семестр	—	—	4 часа
5 семестр	8 часов	—	6 часов
6 семестр	6 часов	—	6 часов
7 семестр	6 часов	8 часов	8 часов
8 семестр	—	10 часов	6 часов

Рис. 2. Реализация технологии деятельности начальника караула в учебной деятельности курсантов

² Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444. П. 151. Указ. изд.

Полученные данные доказывают, что в процессе подготовки курсантов обеспечивается исполнение каждым курсантом должностных обязанностей начальника караула (руководителя тушения пожара).

Реализация технологии деятельности начальника караула на базе практики вуза. Практические занятия на базе практики вуза определены рамками рабочей программы по факультативу «Пожаротушение». В разделе «Пожарно-тактическая подготовка» становится возможным внедрение технологии функциональной деятельности начальника караула в учебную деятельность курсантов. В течение учебного года организуется две недели пребывания учебного курса на базе практики. Данный факт позволяет обеспечить выполнение каждым курсантом операциональных действий начальника караула, командира отделения и пожарного, в учебно-профессиональной ситуации максимально приближенной к условиям выполнения основной боевой задачи на месте пожара.

Практическое занятие по разделу «Пожарно-тактическая подготовка» напрямую зависит от обеспеченности пожарными автомобилями и адаптируется преподавателями под численность учебной группы. При максимальной численности группы курсантов в количестве 30 человек, преподавателями осуществляется ее разделение на три равные подгруппы, с каждой из которых в отдельности решается профессиональная ситуация.

Учебная подгруппа представляется в виде дежурного караула в составе одного или двух отделений на основных пожарных автомобилях. Основная цель практических занятий «Моделирование действий первого прибывшего начальника караула к месту вызова и организация оперативно-тактических действий до прибытия дополнительных сил и средств». Преподавателем назначается из числа курсантов начальник караула, а личный состав подгруппы делится на отделения, в которых назначаются командиры. Личный состав находится на практическом занятии в боевой одежде и снаряжении пожарного с надетыми СИЗОД.

Особую важность представляет содержание профессиональной ситуации, факторы которой обеспечивают стимулирование проявления профессионально значимых качеств у обучающихся [6]. С этой целью, перед прове-

дением занятия, преподаватель создает модель места пожара, на основе которой курсанты выбирают наиболее оптимальное решение основной боевой задачи. В моделируемую профессиональную ситуацию входит: объект пожара; обстановка на пожаре созданная с помощью средств имитации (флажки красного и синего цвета, искусственный дым, дымовые шашки, манекены и другое), а также факторы ситуации (высокая температура окружающей среды; работа в боевой одежде и снаряжении пожарного и СИЗОД; длительные физические нагрузки; работа в задымленных и тесных помещениях; профессиональный шум; работа при контакте с открытым огнем и другое); водосточники; пожарные автомобили, пожарнотехническое оборудование и инструмент. То есть, факторы среды, обеспечивающие формирование психологической устойчивости курсантов к негативным условиям профессиональной деятельности [7]. Важно подчеркнуть, что факторы ситуации обуславливают необходимость применения такого принципа обучения, как «рациональность риска и сохранение жизни и здоровья обучаемого». Вследствие этого преподаватели:

- привлекают на практическое занятие медицинский персонал;
- предусматривают возможность быстрой остановки проведения занятия;
- перед проведением занятия объясняют особенности выполнения операциональных действий в рамках требования нормативно-правовых актов в области обеспечения правил охраны труда.

Изучив объект пожара, личный состав отделений направляется к пожарным автомобилям и строится у их задних осей, а командиры отделений перед отделениями. Порядок решения пожарно-тактической задачи на местности начинается с объявляемой преподавателем вводной. Отталкиваясь от трудов В. В. Терехова, можно подчеркнуть важность понимания курсантом того факта, что успешность выполнения основной боевой задачи обеспечивается созданным «на бумаге или в уме» планом тушения пожара [8, с. 44]. В данный план входит: места установки пожарных автомобилей; места ввода сил и средств; определение боевых позиций.



Рис. 2. Алгоритм решения пожарно-тактической задачи на местности

Прибывший на место вызова курсант-начальник караула выполняет учебную деятельность в строгом соответствии с требованиями положений нормативно-правовых актов МЧС России. Первоначально проводится разведка, по результатам которой передается информация об обстановке на месте пожара преподавателю. Разведка проводится с момента получения «вводной» от преподавателя и заканчивается на момент определения курсантом этапа боевых действий по тушению пожара «ликвидация». Далее курсант обеспечивает организацию первоочередных действий по спасению людей и тушению пожара на учебном месте, если они предусмотрены созданной преподавателем моделью места пожара.

В профессиональные действия участников тушения пожара входит: установка пожарного автомобиля на водосточник; развертывание магистральных и рабочих линий; спасение людей методом вывода или выноса; имитация проведения рабочей проверки перед входом в непригодную для дыхания среду; работа с ручным и лафетным пожарным стволом (подача огнетушащих веществ); работа с ручными пожарными лестницами.

В профессиональные действия начальника караула входит: проведение разведки пожара; определение ранга пожара; определение мест ввода сил и средств; определение границ тушения пожара; определение площади пожара; управление личным составом; ведение радиообмена; выполнение инженерного расчета сил и средств. Важно отметить, что деятельность начальника караула при тушении пожара, в особенности первого прибывшего подразделения, никогда не ограничена только управлением личным составом. Как показывает практика, начальники караула, обеспечивая оперативность разведки внутри объекта пожара, также выполняют операционные действия номеров расчета. К таким действиям относятся: подъем на высоту, развертывание сил и средств, вскрытие конструкций, работа с ручными стволами при подаче огнетушащих веществ на тушение пожара, спасения людей и др. Вследствие данного аспекта курсанту важно понимать значимость включения в деятельность при ликвидации чрезвычайной ситуации с сохранением управленческих функций, а также выполнения должностных обязанностей при взаимодействии с номерами расчета.

Курсант-начальник караула реализует составленный им план решения основной боевой задачи на основе кратких и конкретных распоряжений участникам боевых действий.

В случае необходимости принятия решений о применении газодымозащитной службы на месте пожара создаются звенья и выставляются посты безопасности. Перед использованием СИЗОД в непригодной для дыхания среде курсанты проводят рабочую проверку, а именно: исправность маски и правильность присоединения к ней легочного автомата; герметичность аппарата на разрежение; работу легочного автомата и клапана выдоха маски; срабатывание сигнального устройства; давление воздуха в баллоне. Время проведения рабочей проверки не должно превышать 1 минуты. По окончании рабочей проверки, газодымозащитник докладывает командиру звена ГДЗС о готовности к включению, значении рабочего давления в баллоне.

В непригодной для дыхания среде курсантами, работающими в звене ГДЗС, производится поиск и спасение людей, определение направлений распространения пожара, выбор способа ликвидации горения и приборов подачи огнетушащих веществ. Необходимость определения направлений распространения пожара связана с определением курсантами боевых позиций, обеспечивающих условие выполнения основной боевой задачи, а именно, спасение людей, достижение локализации и ликвидации пожара в кратчайшие сроки. По итогам разведки курсант-начальник караула передает сообщение преподавателю.

В процессе занятия преподавателем объявляются дополнительные вводные, которые усложняют обстановку на месте вызова. Данный аспект подготовки позволяет приобрести курсантами эмоционально окрашенный опыт оперативного принятия решений в условиях воздействующих трудностей и дефицита времени. Среди возможных вариантов вводных можно выделить: 1) насос пожарного автомобиля вышел из строя; 2) потеряна связь со звеном ГДЗС; 3) произошел разрыв магистральной линии; 4) пожар распространился на вышележащий (нижележащий) этаж; 5) обнаружены пострадавшие (указывается место их нахождения).

Решение пожарно-тактической задачи завершается определением курсантом-начальником караула возможности достижения локализации и ликвидации пожара имеющимися силами и средствами, о чем передается информация преподавателю.

Действия должностных лиц и отделений на пожарных автомобилях контролируются преподавателями. На момент полного развертывания сил и средств (ствольщики на позициях, поданы огнетушащие вещества), а также определения момента ликвидации пожара преподаватель завершает решение задачи по команде

«Отбой! Сбор пожарно-технического оборудования!». Далее личный состав учебной группы осуществляет сбор пожарно-технического оборудования и инструмента.

Занятие завершается разбором преподавателем действий курсантов с заслушиванием должностных лиц. В процессе разбора занятия курсанты обосновывают целесообразность выбранных ими оперативно-тактических действий в данной модели места пожара, при этом опираясь на конкретные пункты Боевого устава подразделений пожарной охраны. Преподавателями, также выделяются ошибки курсантов, которые не соответствуют требованиям нормативно-правовых документов МЧС России. В дальнейшем, на реальных примерах из практики подразделений пожарной охраны, разъясняются возможные последствия допущенных ошибок, а именно гибель людей, в том числе сотрудников МЧС России, распространение пожара на большие площади, утрата работоспособности пожарно-технического оборудования и пожарных автомобилей, уголовная ответственность за ненадлежащее исполнение служебных обязанностей. Преподавателями также оцениваются командно-организаторские способности, нравственно психологическая устойчивость

личности, взаимовыручка при разворачивании сил и средств, владение навыками работы с пожарно-техническим оборудованием и инструментом.

Оценив учебную деятельность курсантов, преподаватель переназначает должностных лиц, распределяет личный состав по отделениям, создает модель места пожара и объявляет вводную.

Реализация технологии деятельности начальника караула в классе ситуационного моделирования. С этой целью разработаны дифференцированные компьютерные модели практико-ориентированных ситуаций в графической среде Visio. В основе упражнения лежит игровой метод подготовки курсантов в рамках решения пожарно-тактических кейсов [9]. Основным компонентом модели является схема расстановки сил и средств, в которую курсант может вносить изменения на основе анализа оперативно-тактической информации, а также тактических возможностей имеющихся в подчинении отделений, опираясь на требования Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (рис. 3).

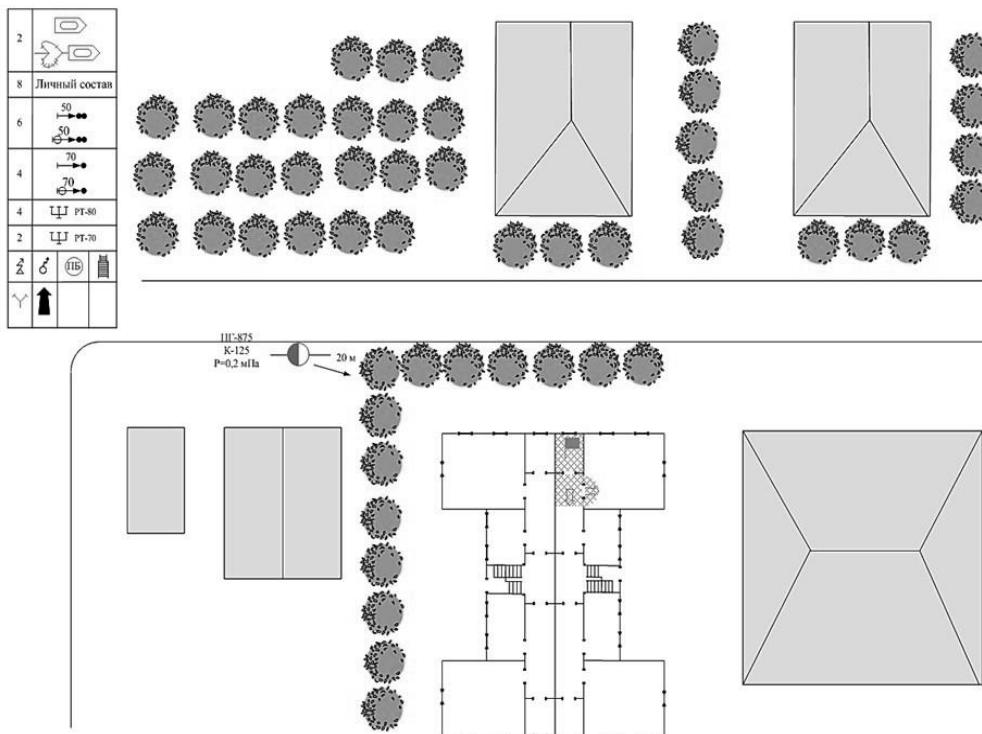


Рис. 3. Модель места пожара

Практика показывает, что на занятии в классе ситуационного моделирования по дисциплине «Организация пожаротушения» могут одновременно заниматься до 15 человек. Каж-

дый курсант в учебной группе проходит обучение в роли руководителя тушения пожара на уровне сложности «начальник караула» и «оперативный дежурный». Уровни сложности

определяется преподавателем в зависимости от индивидуальной подготовленности обучаемых и обусловлены численностью отделений присутствующих на месте пожара.

Для понимания обстановки на месте вызова, курсант оценивает время его возникновения, оперативно-тактическую характеристику объекта пожара (информация подкрепляется фотографией объекта), информацию о пожаре (место возникновения пожара, какие видимые признаки пожара присутствуют на месте вызова (дым, пламя, изменение цвета штукатурки, температуры стен); погодные условия (температура окружающей среды, осадки); силы и средства, находящиеся в подчинении. Особую значимость имеет время возникновения пожара, которое влияет на:

- количество людей на объекте, которым требуется помощь;
- необходимость проведения специальных работ, например «организация освещения места пожара».

Для составления и реализации тактического замысла, курсанты прогнозируют возможную обстановку на пожаре путем проведения инженерных расчетов определения площади пожара, площади тушения пожара, необходимого количества стволов на тушение пожара, необходимого количества стволов на защиту, требуемого количества пожарных автомобилей основного назначения, численности личного состава и количества пожарных отделений. На основе численности отделений делается вывод о принимаемых решениях и необходимости привлечения к месту вызова дополнительных сил и средств (ранг пожара).

Расстановка сил и средств осуществляется с помощью условных графических обозначений, которые свободно перемещаются по схеме, что позволяет курсантам реализовывать разработанный тактический замысел (рис. 4). После выполнения упражнения курсанты обсуждают полученные результаты учебной группой.

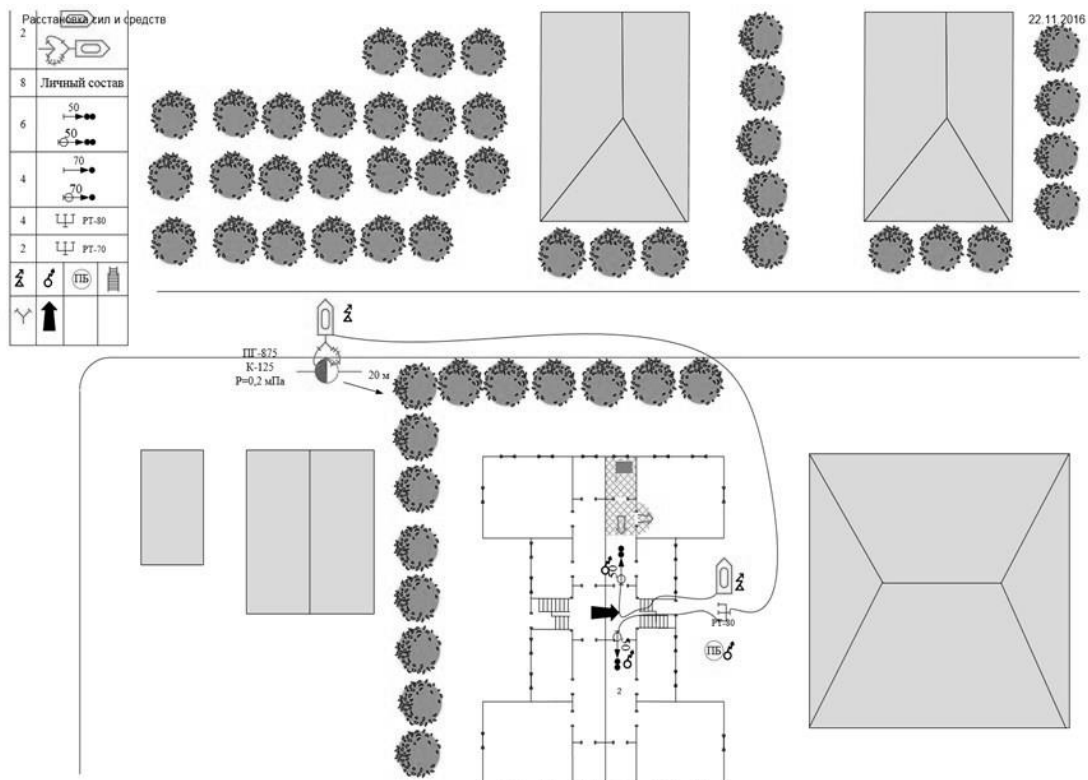


Рис. 4. Результат расстановки сил и средств

Выводы. Анализ учебно-воспитательного процесса Ивановской пожарной спасательной академии ГПС МЧС России показал:

Во-первых, каждый курсант в период обучения в вузе исполняет должностные обя-

занности начальника караула (руководителя тушения пожара) и командира отделения при выполнении основной боевой задачи. Однако можно сделать существенный вывод: в период обучения курсанты в большей степени выполняют учебную деятельность номера расчета.

Вследствие данного аспекта вуз обязан стремиться обеспечить приобретение опыта операциональных действий пожарного у курсантов до высокого уровня мастерства, а также формирование профессионально значимых качеств. Это позволит сократить период адаптации курсантов по профессиональному назначению при самостоятельном исполнении служебных обязанностей в пожарно-спасательной части.

Во-вторых, выделенные операциональные действия в технологии функциональной деятельности начальника караула являются основой для моделирования учебных профессиональных ситуаций на базе практики вуза МЧС России, а также класса ситуационного моделирования. Реализуя технологию деятельности начальника караула в профессиональной подготовке курсантов, становится возможным адаптировать учебную деятельность под их индивидуальные возможности. Данный аспект позволяет курсантам осмыслить специфику деятельности сотрудника на

месте вызова и участвовать в процессах тушения пожара сложных для непосредственного понимания. То есть, обеспечивает необходимое опредмечивание теоретических знаний курсантов Боевого устава подразделений пожарной охраны и правил техники безопасности в учебной деятельности максимально приближенной к деятельности начальника караула. Это позволяет формировать адекватное представление курсантов о профессиональной деятельности начальника караула в среде с наличием факторов риска, а также наиболее полному овладению практическим опытом тушения пожара в строгом соответствии с рамками Боевого устава. Эффективность реализации технологии деятельности начальника караула в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов МЧС России, обеспечивается профессионализмом и личной примерностью преподавателей специальных кафедр УНК «Пожаротушение», а также развитости их личностных и профессиональных качеств [10].

Список литературы

1. Ермилов А. В. Модель формирования профессионально значимых качеств бакалавров в вузах МЧС России // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. 2018. Т. 28. № 3. С. 335–341.

2. Белорожев О. Н. Особенности подготовки курсантов вузов МЧС России к активному взаимодействию в чрезвычайных ситуациях // Вестник Владимирского государственного университета имени Столетовых. 2015. № 20(39). С. 49–53.

3. Суровегин А. В. Формирование познавательной мотивации курсантов вузов МЧС России с использованием учебно-тренажерных комплексов // Вестник Владимирского государственного университета имени Столетовых. 2015. № 20(39). С. 69–75.

4. Ермилов А. В. Формирование профессионально значимых качеств бакалавра МЧС России на основе фактора риска // Право и образование. 2018. № 11. С. 77–85.

5. Ермилов А. В. Учебный модуль для формирования профессионально значимых личностных качеств курсантов МЧС России // Педагогическое образование в России. 2017. № 7. С. 123–128.

6. Мардахаев Л. В. Профессионально-ориентированная социализация обучающихся и необходимость ее стимулирования // ЦИТИСЭ. 2017. № 3(12). С. 28.

7. Булгаков В. В. Формирование психологической устойчивости пожарных к негативным условиям профессиональной деятельности // Психопедагогика в правоохранительных органах. 2020. Т. 25. № 3(82). С. 246–253.

8. Терехнев В. В. Понятие о тушении пожара. Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2010. 356 с.

9. Игровой метод практической подготовки офицеров государственной противопожарной службы / В. В. Булгаков, А. А. Лазарев, Е. П. Коноваленко [и др.] // Образование и наука. 2019. Т. 21. № 4. С. 183–207. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-4-183-207

10. Организация образовательного процесса в вузе на основе требований к педагогу в поликультурной среде / Л. В. Мардахаев, А. М. Егорычев, Д. М. Маллаев [и др.]. *Science for Education Today*, 2019, vol. 9, issue 2, pp. 23–35. DOI: 10.15293/2658-6762.1902.02

References

1. Ermilov A. V. Model' formirovaniya professional'no znachimykh kachestv bakalavrov v vuzah MCHS Rossii [Model of formation of professionally significant qualities of bachelors in higher education institutions of the Ministry of emergency situations of Russia]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Filosofiya. Psihologiya. Pedagogika*, 2018, vol. 28, issue 3, pp. 335–341.

2. Belorozhev O. N. Osobennosti podgotovki kursantov vuzov MCHS Rossii k aktivnomu

vzaimodejstviyu v chrezvychajnyh situacijah [Features of training cadets of higher education institutions of the EMERCOM of Russia for active interaction in emergency situations]. *Vestnik Vladimirskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Stoletovyh*, 2015, vol. 20(39), pp. 49–53.

3. Surovegin A. V. Formirovanie poznatel'noj motivacii kursantov vuzov MCHS Rossii s ispol'zovaniem uchebno-trenazhernyh kompleksov [Formation of cognitive motivation of cadets of higher education institutions of the Ministry of emergency situations of Russia using training and training complexes]. *Vestnik Vladimirskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Stoletovyh*, 2015, vol. 20(39), pp. 69–75.

4. Ermilov A. V. Formirovanie professional'no znachimyh kachestv bakalavra MCHS Rossii na osnove faktora riska [Formation of professionally significant qualities of a bachelor of the Ministry of emergency situations of Russia based on the risk factor]. *Pravo i obrazovanie*, 2018, issue 11, pp. 77–85.

5. Ermilov A. V. Uchebnyj modul' dlya formirovaniya professional'no znachimyh lichnostnyh kachestv kursantov MCHS Rossii [Training module for the formation of professionally significant personal qualities of cadets of the EMERCOM of Russia]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*, 2017, issue 7. pp. 123–128.

6. Mardahaev L. V. Professional'no-orientirovannaya socializaciya obuchayush-

chihsvya i neobhodimost' ee stimulirovaniya [Professionally-oriented socialization of students and the need to stimulate it]. *CITISE*, 2017, vol. 3(12), 28 p.

7. Bulgakov V. V. Formirovanie psihologicheskoj ustojchivosti pozharnyh k negativnym usloviyam professional'noj deyatel'nosti [Formation of psychological stability of firefighters to negative conditions of professional activity]. *Psichopedagogika v pravoohranitel'nyh organah*, 2020, vol. 25, issue 3(82), pp. 246–253.

8. Terebnev V. V. *Ponyatie o tushenii pozhara* [The concept of fire fighting]. Ekaterinburg: OOO «Izdatel'stvo «Kalan», 2010. 356 p.

9. Igrovoj metod prakticheskoj podgotovki oficerov gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby [Game method of practical training of officers of the state fire service] / V. V. Bulgakov, A. A. Lazarev, E. P. Konovalenko [at al.]. *Obrazovanie i nauka*, 2019, vol. 21, issue 4, pp. 183–207. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-4-183-207

10. Organizaciya obrazovatel'nogo processa v vuze na osnove trebovanij k pedagogu v polikul'turnoj srede [Organization of the educational process at the University based on the requirements for the teacher in a multicultural environment] / L. V. Mardakhayev, A. M. Yegorychev, D. M. Mallayev [at al.] *Science for Education Today*, 2019, vol. 9, issue 2, pp. 23–35. DOI: 10.15293/2658-6762.1902.02

Ермилов Алексей Васильевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель

E-mail: skash_666@mail.ru

Ermilov Aleksey Vasilyevich

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: skash_666@mail.ru

Белорожев Олег Николаевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель

E-mail: beliyon@mail.ru

Belorozhev Oleg Nikolaevich

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

Russian Federation, Ivanovo

senior lecturer

E-mail: beliyon@mail.ru

УДК 004.023

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

А. В. КУЗНЕЦОВ, Д. В. ТАРАКАНОВ, М. О. БАКАНОВ, А. В. СУРОВЕГИН

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

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru, den-pgsm@mail.ru, mask-13@mail.ru, sav-37@mail.ru

В работе представлены аналитические зависимости оценки предельных состояний системы мониторинга для решения комплекса задач по планированию и организации наблюдения при техногенных пожарах на объектах энергетики. Разработаны процедуры для решения практических задач оценки необходимого количества средств мониторинга для его качественной реализации, что обеспечивает требуемые показатели информационного обеспечения при мониторинге параметров безопасного функционирования на энергетических объектах. Разработана процедура планирования резерва средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем (БАС) с целью повышения качества информационного обеспечения действий подразделений, участвующих в ликвидации пожаров на объектах энергетики. Предложена концептуальная модель резервирования средств мониторинга пожара на основе прогноза динамики состояний системы управления. Разработан метод оценки состояний системы мониторинга с целью прогнозирования эффективности ее функционирования в режиме реального времени. Рассмотрены систематизированные результаты, полученные в ходе решения научной задачи, состоящей в разработке моделей комплексной оценки качества системы мониторинга, созданной на базе беспилотных авиационных систем с целью формирования единого информационного пространства для эффективного управления подразделениями, участвующими в предупреждении и ликвидации пожаров на объектах энергетики.

Ключевые слова: планирование мониторинга, информационное обеспечение, резервирование средств мониторинга, объекты энергетики.

INFORMATION RESOURCES OF THE SYSTEM FOR MONITORING LARGE FIRES AT ENERGY OBJECTS

A. V. KUZNETSOV, D. V. TARAKANOV, M. O. BAKANOV, A. V. SUROVEGIN

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: a.kuznetsov9@yandex.ru, den-pgsm@mail.ru, mask-13@mail.ru, sav-37@mail.ru

The paper presents analytical dependences for evaluating the limit States of the monitoring system for solving a set of tasks for planning and organizing monitoring of man-made fires at energy facilities. Procedures have been developed for solving practical problems of evaluating the necessary number of monitoring tools for its high-quality implementation, which provides the required information support indicators for monitoring the parameters of safe operation at energy facilities. A procedure has been developed for planning the reserve of monitoring tools based on unmanned aircraft systems in order to improve the quality of information support for the actions of units involved in the elimination of fires at energy facilities. A conceptual model is proposed for reserving fire monitoring tools based on the forecast of the dynamics of the control system States. A method has been developed for assessing the state of the monitoring system in order to predict the effectiveness of its operation in real time. Systematized results obtained in the course of solving the scientific problem of developing models for integrated quality assessment of the monitoring system created on the basis of unmanned aircraft systems in order to form a unified information space for effective management of departments involved in the prevention and elimination of fires at energy facilities are considered.

Key words: monitoring planning, information support, reservation of monitoring facilities, energy objects.

Введение

Системы энергетики на сегодняшний день являются ключевой отраслью экономики современного государства. Поэтому, обеспечение безопасности критически важных объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) – один из основных приоритетов в системе национальной безопасности страны. Система безопасности объектов ТЭК является единой интегрированной системой, состоящей из различных программно-технических средств. К ним можно отнести: автоматизированные системы управления технологическим процессом, системы пожарной автоматики и другие системы мониторинга параметров безопасного функционирования объектов. В свою очередь, средства мониторинга следует разделять на стационарные (пожарная автоматика, АСУТП и т.п.) и мобильные (беспилотные летательные аппараты (БПЛА), робототехнические комплексы и т.п.).

Для обеспечения надежного функционирования систем мобильного мониторинга следует обеспечить объективность и требуемые показатели качества информационных ресурсов системы мониторинга.

Особенности применения сил и средств пожарно-спасательных подразделений в ходе ликвидации пожаров на объектах энергетики обуславливают потребность в совершенствовании процедур принятия решений при их управлении. Достоверность и объективность получаемой информации, которая поступает с использованием результатов объективного мониторинга пожара, приобретает ключевое значение для реализации formalизованных процедур управления.

Информационное обеспечение данной системы полностью основано на результатах мониторинга, которые в совокупности с методами прогнозирования, обеспечивают объективной информацией все этапы предупреждения и борьбы с пожарами на объектах энергетики.

Характер реализации систем мониторинга зависит от видов и специфики их основных функций, к которым относятся: сбор информации, получение прогнозов, оценка безопасности и оценка результативности^{1,2}.

Вместе с тем, методики мониторинга пожаров разнообразны [1–3] и в настоящее время для мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуации применяются беспилотные авиационные системы [4, 5]. Актуальные научные методы определяют количественные показатели, по которым можно проводить научный анализ эффективности применения БАС как средства мониторинга, к ним можно отнести следующие:

- оперативность развертывания системы мониторинга;
- качество передаваемой информации при мониторинге;
- экономическая составляющая: стоимость средства мониторинга.

Однако развитие цифровых технологий определило объективную потребность в оснащении результатов мониторинга, как информационной составляющей управления, интеллектуальным анализом результатов мониторинга – аналитической составляющей управления. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что на современном этапе информационно-аналитические системы управления нуждаются в развитии. Важным направлением совершенствования информационно-аналитических систем управления в области борьбы с пожарами является комплексная оценка их организации и функционирования, для чего необходимо иметь объективный количественный инструментарий.

Таким инструментарием может служить модель циклического мониторинга, которая основана на принципах непрерывного получения информации с места пожара или чрезвычайной ситуации [6, 7]. При планировании циклического мониторинга с применением БАС весь процесс сбора информации, необходимой для принятия решений, декомпозируют на циклы. При этом для каждого средства мониторинга формируется циклограмма, состоящая из этапов. Циклограмма мониторинга – диаграмма времени, реализации этапов применения средств мониторинга при реализации задач сбора информации с места чрезвычайной ситуации и этапов восстановления средств мониторинга, включая их техническое обслуживание.

¹ ГОСТ Р 22.1.12–2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования.

² ГОСТ Р 56935–2016. Производственные услуги. Услуги по построению системы мониторинга автоматических систем противопожарной защиты и вывода сигналов на пульт централизованного наблюдения «01» и «112».

Основная часть

Рассмотрим следующую схему мониторинга. Пусть имеется продолжительность одного цикла мониторинга T (мин), включающая следующие этапы (табл. 1). Структурная схема циклического мониторинга представлена на рис. 1.

Согласно принятой структурной схеме предположим, что весь цикл мониторинга будет равен сумме продолжительностей его этапов, то есть:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \text{ (мин)}. \quad (1)$$

Соответственно, если нам известны следующие параметры: T – продолжительность цикла мониторинга; T_1 – следование к месту мониторинга; T_3 – следование к месту восстановления, определяемые на основе технических характеристик средств мониторинга: скорости движения и времени работы, то необходимо определить какова продолжительность этапов мониторинга и восстановления средств мониторинга при заданном количестве средств мониторинга N , обеспечивающих непрерывный и устойчивый мониторинг.

Таблица 1. Этапы циклического мониторинга

Этап	Описание этапа циклического мониторинга
T_1	продолжительность этапа следования средства мониторинга к месту ЧС (мин)
T_2	продолжительность мониторинга на месте ЧС (мин)
T_3	продолжительность следования средства мониторинга к месту его восстановления (пункту организации мониторинга) (мин)
T_4	продолжительность восстановления средства мониторинга (мин)

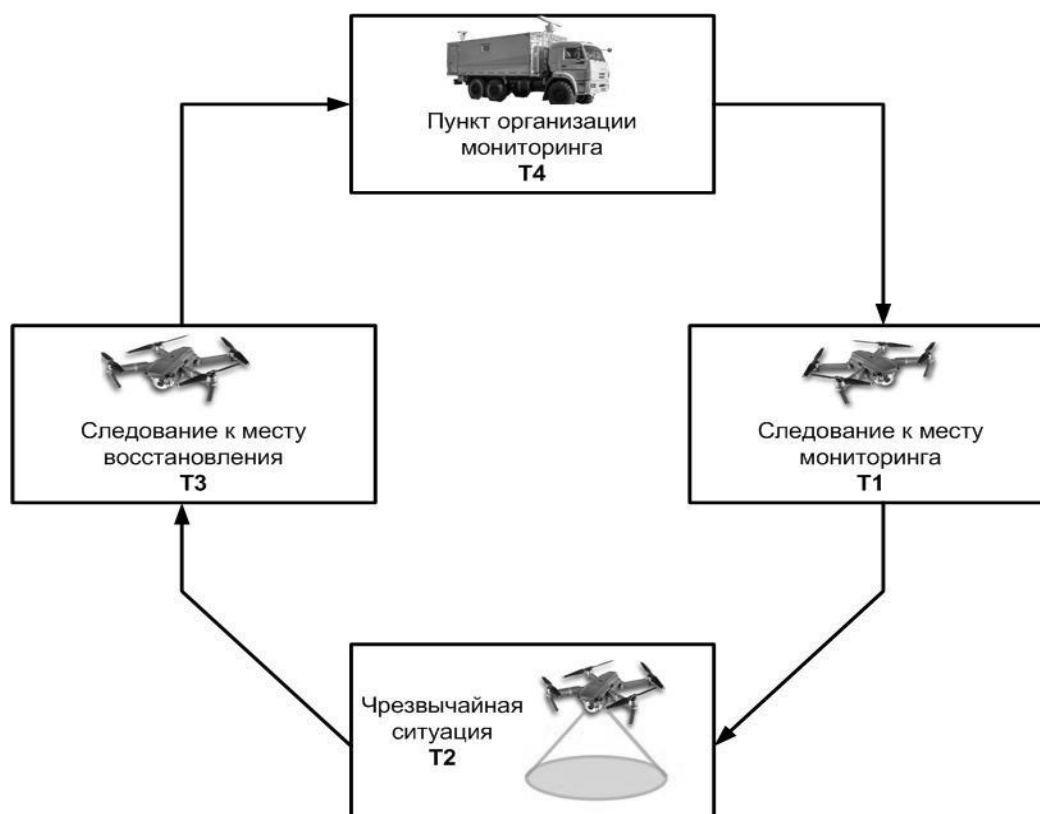


Рис. 1. Структурная схема циклического мониторинга

Под непрерывным мониторингом понимается процесс, который характеризуется постоянным наличием в зоне мониторинга одного средства мониторинга. Устойчивость монито-

ринга достигается реализацией мер, обеспечивающих при возникновении непредвиденных ситуаций непрерывность мониторинга, что до-

стигается наличием как минимум одного средства мониторинга в пункте восстановления.

Тогда для обеспечения непрерывности циклического мониторинга необходимое коли-

$$m = M\left(\frac{T}{T_2}\right) = M\left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{T_2}\right) \rightarrow m = M\left(\frac{T_1 + T_3 + T_4}{T_2}\right) + 1, \quad (2)$$

где M – оператор округления к большему целому.

В случае если продолжительность этапов следования к месту мониторинга и обратно к месту восстановления равны, то есть $T_1 = T_3$, то необходимое количество средств мониторинга можно определить по формуле:

$$m = M\left(\frac{2T_1 + T_4}{T_2}\right) + 1, \quad (3)$$

при условии, что $T_4 \geq T_2$.

Для сохранения стабильности мониторинга должно быть принято решение о необходимости применения резервного средства мониторинга. Процедура принятия решения базируется на оценке вероятности события, заключающегося в том, что на пункте восстановления нет ни одного средства мониторинга.

чество средств мониторинга определяется по формуле:

Для этого воспользуемся разработанной моделью:

$$\langle T_p, T_e, \alpha, m, P_m, P^* \rangle, \quad (4)$$

где T_p – продолжительность нахождения средства мониторинга в работе, мин; T_e – продолжительность нахождения средства мониторинга на восстановлении, мин; α – параметр мониторинга; m – необходимое для непрерывного мониторинга количество средств мониторинга; P_m – вероятность события при котором все средства мониторинга находятся в работе; P^* – предельное значение вероятности. Для моделирования состояний мониторинга предлагается система уравнений аналогичных уравнениям Эрланга с восстановлением [8], которая представляет собой следующую совокупность:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(T)}{dT} = -\frac{1}{T_p} P_0(T) + \frac{1}{T_B} P_1(T) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_k(T)}{dT} = -\frac{1}{T_p} P_k(T) - \frac{1}{T_B} P_k(T) + \frac{1}{T_p} P_{k-1}(T) + \frac{1}{T_B} P_{k+1}(T) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_m(T)}{dT} = -\frac{1}{T_B} P_m(T) + \frac{1}{T_p} P_{m-1}(T) \end{cases}, \quad (5)$$

где k – количество средств мониторинга, находящихся в воздухе; P_k – вероятность состояния системы, при котором k из m средств мониторинга находится в воздухе.

Принятие решения о привлечении резервного средства мониторинга основано на строгом неравенстве: если $P_m < P^*$, то необходим резерв.

Здесь $P(\alpha, m)$ определяется по соотношению:

$$P_m = \frac{1}{\Delta}, \Delta_k = \alpha^{m-k}, \Delta = \sum_{k=0}^m \Delta_k, k=0, 1, \dots, m. \quad (6)$$

Результаты анализа соответствующих определителей систем линейных уравнений и аналитические соотношения для определения предельных вероятностей состояния системы мониторинга представлены в табл. 2.

Согласно предложенной схеме циклического мониторинга, продолжительность нахождения средства мониторинга в небе будет определяться по формуле $T_p = 2T_1 + T_2$ (мин). В свою очередь, длительность нахождения средства мониторинга на земле – это время восстановления, то есть $T_B = T_4$ (мин).

Таблица 2. Расчет предельных состояний системы мониторинга

Количество средств мониторинга	$m=1$	$m=2$	$m=3$
Определители матриц			
Δ_0	$\Delta_0 = \alpha$	$\Delta_0 = \alpha^2$	$\Delta_0 = \alpha^3$
Δ_1	$\Delta_1 = 1$	$\Delta_1 = \alpha$	$\Delta_1 = \alpha^2$
Δ_2	–	$\Delta_2 = 1$	$\Delta_2 = \alpha$
Δ_3	–	–	$\Delta_3 = 1$
Δ	$\Delta = 1 + \alpha$	$\Delta = 1 + \alpha + \alpha^2$	$\Delta = 1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3$
Искомые вероятности состояний системы			
Состояние 0	$P_0 = \frac{\alpha}{1 + \alpha}$	$P_0 = \frac{\alpha^2}{1 + \alpha + \alpha^2}$	$P_0 = \frac{\alpha^3}{1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3}$
Состояние 1	$P_1 = \frac{1}{1 + \alpha}$	$P_1 = \frac{\alpha}{1 + \alpha + \alpha^2}$	$P_1 = \frac{\alpha^2}{1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3}$
Состояние 2	–	$P_2 = \frac{1}{1 + \alpha + \alpha^2}$	$P_2 = \frac{\alpha}{1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3}$
Состояние 3	–	–	$P_3 = \frac{1}{1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3}$

Из рис. 2 видим, что процесс принятия решения о применении резервного средства мониторинга начинается с ввода исходных данных: T, T_1, T_2, P^* .

Продолжительность восстановления средства мониторинга на базе беспилотных авиационных систем определяется по формуле:

$$T_4 = T - 2T_1 - T_2 \text{ (мин).}$$

Для расчета необходимого количества средств мониторинга m применяем формулу:

$$m = M \left(\frac{2T_1 + T_4}{T_2} \right) + 1 \quad (7)$$

Далее выполняют расчет параметра схемы мониторинга α :

$$\alpha = \frac{2T_1 + T_2}{T_4} \quad (8)$$

После проведения вышеуказанных расчетов оценивают вероятность события, при котором все средства мониторинга находятся в работе:

$$P_0 = \frac{\alpha^m}{\Delta}, \Delta_k = \alpha^{m-k}, \Delta = \sum_{k=0}^m \Delta_k, k=0,1,\dots,m. \quad (9)$$

Принятие решения о привлечении резервного средства мониторинга производится исходя из условия: $P_m > P^*$. Необходимо учитывать, что при увеличении времени следования средства мониторинга к чрезвычайной ситуации или крупному пожару, повышается вероятность применения резервного средства мониторинга.

Принятие решения о привлечении резервного средства мониторинга производится исходя из условия: $P_m > P^*$. Необходимо учитывать, что при увеличении времени следования средства мониторинга к чрезвычайной ситуации или крупному пожару, повышается вероятность применения резервного средства мониторинга.

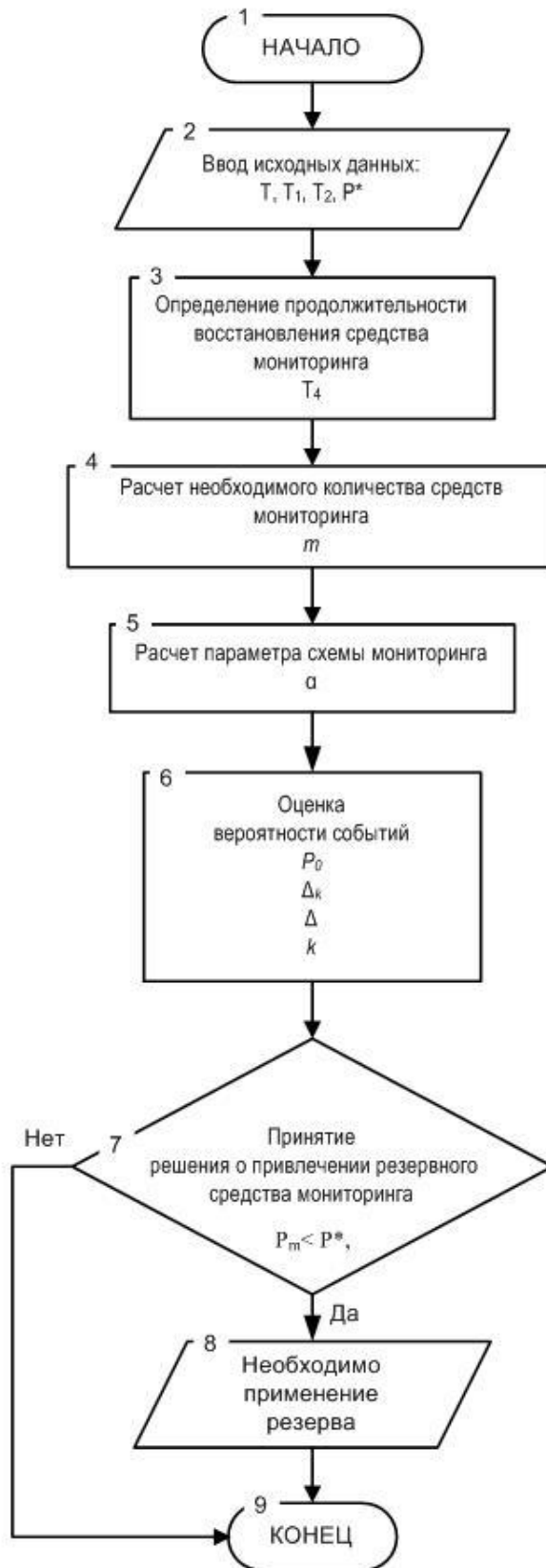


Рис. 2. Алгоритм принятия решений о применении резервного средства мониторинга

Заключение

При разработке модели циклического мониторинга и ее последующем внедрении в комплекс алгоритмических и структурных решений для проектирования сложных систем управления при мониторинге крупных пожаров на основе беспилотных авиационных систем произведен учет современного уровня развития технологий и информационных ресурсов систем мониторинга, в части касающейся качества информационного обмена в системе управления. Модернизированный комплекс решений позволяет на практике, при математическом описании состояний мониторинга пожара, использовать элементы модели циклического мониторинга. Таким образом, при постановке задачи планирования мониторинга была предусмотрена возможность учета изме-

нений состояний системы управления вследствие воздействия внешней среды, что носит определяющий характер при оценке адекватности результатов моделирования.

Совокупность полученных результатов является теоретической основой для разработки концептуальной модели резервирования средств мониторинга пожара на основе прогноза динамики состояний системы управления, что в свою очередь дополняет и расширяет информационную систему крупных пожаров на объектах энергетики. В дальнейшем результаты исследования позволят развить метод оценки состояний системы мониторинга с целью прогнозирования эффективности ее функционирования в режиме реального времени.

Список литературы

1. Половинчук Н. Я., Иванов С. В., Тимофеев В. И. Алгоритм терминально-оптимального управления беспилотным летательным аппаратом // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. №1. С. 13–17.

2. Татаринов В. В., Калайдов А. Н., Муйкич Э. Применение беспилотных летательных аппаратов для получения информации о природных пожарах // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1(71). С. 160–168.

3. Фоменко А. А. Управление группой беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных пожаров // Научное обозрение. 2013. № 4. С. 137–143.

4. Ростопчин В. В. Элементарные основы оценки эффективности применения беспилотных авиационных систем для воздушной разведки // Беспилотная авиация. <http://uav.ru/articles/basicuavefficiency.pdf>.

5. Руководство по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров на начальных этапах развития в зданиях с использованием информации от мониторинговых систем поддержки управления / А. О. Семенов, Д. В. Тараканов, М. О. Баканов [и др.]. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. 35 с.

6. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития / М. О. Баканов, Д. В. Тараканов, А. В. Кузнецов Баканов [и др.] // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. № 3(36). С. 51–54.

7. Баканов М. О., Тараканов Д. В. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1(373). С. 173–177.

8. Абрамов А. П. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений при тушении пожаров: структура и содержание информационного обеспечения // Пожары и окружающая среда: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Балашиха: ВНИИ-ПО, 2002. С. 363–365.

References

1. Polovinchuk N. Ya., Ivanov S. V., Timofeyev V. I. Algorithm terminal'no-optimal'nogo upravleniya bespilotnym letatel'nykh apparatom [Algorithm of terminal-optimal control of an unmanned aerial vehicle]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, issue 1, pp. 13–17.

2. Tatarinov V. V., Kalaydov A. N., Muiykich E. Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya polucheniya informatsii o prirodnykh pozharakh [The use of unmanned aerial vehicles to obtain information about wildfires]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2017, vol. 1(71), pp. 160–168.

3. Fomenko A. A. Upravleniye gruppy bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri monitoringe lesnykh pozharov [Controlling a group of unmanned aerial vehicles while monitoring forest fires]. *Nauchnoye obozreniye*, 2013, issue 4, pp. 137–143.

4. Rostopchin V. V. Elementarnyye osnovy otsenki effektivnosti primeneniya bespilotnykh aviatsionnykh sistem dlya vozduшной razvedki

[Elementary foundations for assessing the effectiveness of the use of unmanned aerial systems for aerial reconnaissance]. *Bespilotnaya aviatsiya*. <http://uav.ru/articles/basicuavefficiency.pdf>.

5. *Rukovodstvo po povysheniyu effektivnosti deystviy podrazdeleniy pozharной охраны pri likvidatsii pozharov na nachal'nykh etapakh razvitiya v zdaniyakh s ispol'zovaniyem informatsii ot monitoringovykh sistem podderzhki upravleniya* [Guidelines for improving the efficiency of fire protection units in the elimination of fires at the initial stages of development in buildings using information from monitoring systems of management support] / A. O. Semenov, D. V. Tarakanov, M. O. Bakanov [et al.]. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharно-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. 35 p.

6. Modeli kachestva monitoringa pozharov i chrezvychaynykh situatsiy s uchetom spetsifiki ikh razvitiya [Models of the quality of monitoring of fires and emergency situations, 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. 51–54.

7. Bakanov M. O., Tarakanov D. V. Distantionnyy monitoring tekhnogennykh pozharov i chrezvychaynykh situatsiy [Remote monitoring of technogenic fires and emergency situations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2018, vol. 1(373), pp. 173–177.

8. Abramov A. P. Avtomatizirovannaya sistema informatsionnoy podderzhki prinyatiya resheniy pri tushenii pozharov: struktura i sodержaniye informatsionnogo obespecheniya [Automated system of information support for decision-making when extinguishing fires: structure and content of information support]. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda: sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Balashikha: VNIPO, 2002, pp. 363–365.

Кузнецов Александр Валерьевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт очной формы обучения
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
postgraduate student
E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Тараканов Денис Вячеславович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново,
доктор технических наук, профессор кафедры
E-mail: den-pgsm@mail.ru

Tarakanov Denis 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
doctor of technical sciences, professor chairs
E-mail: den-pgsm@mail.ru

Баканов Максим Олегович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново,
кандидат технических наук, начальник кафедры
E-mail: mask-13@mail.ru

Bakanov Maxim Olegovich

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

candidate of technical sciences, head of chair
E-mail: mask-13@mail.ru

Суровегин Антон Вячеславович

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

Surovegin Anton Vyacheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
head of the research division
E-mail: sav-37@mail.ru

УДК 614.8.084

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ: СМЫСЛ ПОНЯТИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В КОНТЕКСТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Л. Ю. ПУШИНА, А. И. ЗАКИНЧАК

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: Bas2808@yandex.ru, zakinchak@mail.ru

В целях совершенствования научной деятельности по исследованию проблем обеспечения безопасности предпринимается попытка раскрыть смысл понятия «социально-экономическое развитие». Демонстрируется, что не все социальные процессы являются социальным развитием; социальные процессы адаптации, функционирования и развития по-разному соотносятся с безопасностью: процессы первого типа, по сути, представляют собой деятельность по обеспечению безопасности; для процессов второго типа она является условием их развертывания; для процессов третьего типа безопасность является показателем их результативности и целью; корректное применение термина «социально-экономическое развитие» в контексте исследования проблем безопасности предполагает выявление детерминирующей роли экономических факторов в обеспечении безопасности.

Ключевые слова: процессы обеспечения безопасности, социальные процессы, процессы адаптации, процессы функционирования, социальное развитие, социально-экономическое развитие, безопасность населения.

SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT: THE MEANING OF THE CONCEPT AND ITS APPLICATION IN THE CONTEXT OF RESEARCHING SECURITY PROBLEMS

L. YU. PUSHINA, A. I. ZAKINCHAK

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: Bas2808@yandex.ru, zakinchak@mail.ru

In order to improve scientific research on security issues, an attempt is made to reveal the meaning of the concept of «socio-economic development».

It is demonstrated that not all social processes are social development; social processes of adaptation, functioning and development relate to security in different ways: processes of the first type, in fact, are security activities; for processes of the second type, it is a condition for their deployment; for processes of the third type, security is an indicator of their effectiveness and goal; the correct use of the term «socio-economic development» in the context of security research involves identifying the determining role of economic factors in ensuring security.

Key words: security processes, social processes, adaptation processes, functioning processes, social development, socio-economic development, population safety.

В последнее время в науке заметно усилился интерес к исследованию взаимосвязи развития и безопасности; специалисты даже говорят о становлении нового научного направления на стыке философской теории развития и формирующейся общей теории

безопасности [1]. В контексте социально-экономического развития территории или региона ученые-обществоведы активно рассматривают безопасность экономическую, финансовую, социальную и пр. [см., например, 2-5]. При этом среди исследователей нет единства относительно трактовки самих ключевых понятий «социально-экономическое развитие» и

«безопасность»; более того, зачастую в работах, посвященных соответствующей проблематике, отсутствуют необходимые дефиниции, как будто бы смысл этих категорий является очевидным и само собой разумеющимся.

Такая ситуация приводит к тому, что термины применяются не всегда корректно. В результате исследователями делаются неверные выводы; специалисты, принадлежащие к смежным отраслям знания (а и иногда – и к одной и той же отрасли), не понимают друг друга, вступают друг с другом в ненужные дискуссии, обусловленные исключительно отсутствием строгости в использовании научной терминологии. Между тем, прогресс в сфере познания возможен лишь на основе преемственности и семантического единства.

В связи с изложенным в данной работе нами предпринимается попытка раскрыть смысл понятия «социально-экономическое развитие». Что касается понятия «безопасность», которое, как уже упоминалось, трактуется исследователями по-разному, поскольку в рамках одной работы «нельзя объять необъятное», в данной статье мы примем наиболее широкое его толкование. Вслед за некоторыми исследователями, под безопасностью общества мы будем понимать состояние (включая факторы, условия и механизм обеспечения этого состояния) сбалансированности всех (внутренних и внешних) сторон его бытия, формирующее возможности реализации интересов его текущего и будущего развития [6, С. 25].

Начнем с того, что социальное развитие является одним из видов социальных процессов.

Социальным процессом называется последовательность социальных событий; понятие «процесс» служит для описания хода наступающих последовательно друг за другом и взаимно обусловленных изменений системы (которые в этом случае называются фазами или этапами) [7, С. 456-457]. Под социальными изменениями понимают различие между состояниями одной и той же социальной системы, которые возникают одно за другим во времени; социальные изменения являются результатом социальных процессов [8].

Социальные процессы дифференцируются на основании различных критериев.

Так, например, по критерию направленности различают процессы:

– *направленные* (предполагают определенную цель или тенденцию в своем движении, они предсказуемы) и *ненаправленные* (носят случайный, хаотичный и непредсказуемый характер);

– *обратимые* (процессы, которые

приводят систему к определенного рода изменениям, но потом происходит возврат к прежнему состоянию) и *необратимые* (изменения, которые нельзя повернуть вспять);

– *восходящие* (предполагающие развитие системы; если это развитие существенное, его отождествляют с прогрессом) и *нисходящие* (процессы, которые приводят систему к негативным дисфункциональным изменениям – регрессу);

– *линейные* (постепенные, непрерывные восходящие или нисходящие изменения в системе);

– *ступенчатые* (представляют собой постепенное наращивание количественного потенциала изменений, которое в определенный момент приводит к качественному скачку или прорыву);

– *циклические* (для которых характерно периодическое повторение определенных фаз развития системы);

– *спиралевидные* (восходящие или нисходящие циклические изменения, которые возвращают систему в исходное состояние, но уже на качественно ином уровне).

По месту причинности выделяют процессы:

– *эндогенные* (вызванные внутренней причиной) и *экзогенные* (вызванные внешней причиной);

– *спонтанные* (возникающие как ненамеренные) и *спланированные* (инициируются, конструируются и управляются властными структурами) и т. д. [9].

Развитием в науке принято называть процесс необратимых направленных закономерных качественных изменений материальных и идеальных объектов. Причем, только одновременное наличие всех указанных свойств выделяет процессы *развития* среди всех прочих: если изменения обратимы, то следует говорить о процессах *функционирования*, представляющих собой циклическое воспроизведение постоянной системы функций, а не о развитии; отсутствие закономерности характерно для *случайных* процессов катастрофического типа; если отсутствует направленность, изменения не могут накапливаться, и процесс лишается характерной для развития единой, внутренне взаимосвязанной линии [10]. Однако, главное состоит в том, что в результате развития возникает новое качественное состояние объекта. Понятие развития относится к таким процессам, которые связаны с обновлением системы, с ее внутренним структурным и функциональным изменением, превращением в нечто новое, иное. Причем речь в данном случае идет не о разовых, а о нарастающих, развернутых во времени поступа-

тельных качественных трансформациях системы. Развитие, таким образом, – процесс длительных, накапливающихся, поступательных изменений сложных системных объектов, осуществляющихся в течение достаточно больших интервалов времени [11, С. 174].

Известно, что вообще развитие может быть прогрессивным (если для него характерен переход от низшего к высшему, от менее совершенного к более совершенному состоянию) и регрессивным (если имеет место нисходящая линия развития) [10]. На этом основании некоторые современные исследователи утверждают, что «анализ социально-экономического развития региона должен включать в себя не только показатели роста, но и регресса и деградации, то есть представлять возможность для их выявления и быть основой для принятия решений по предотвращению или ликвидации последствий развития соответствующих негативных процессов в экономике региона» [12, С. 88]. Это, разумеется, верно по сути, однако, отождествление процессов регресса и деградации с социальным развитием является некорректным.

Социальное развитие, как его определяет классик современной социологии П. Штомпка, представляет собой не просто

направленный процесс, а такой, для которого характерны две особенности:

1) направление процесса имеет *позитивный* характер, т. е. с течением времени поднимается уровень переменной величины или комплекса переменных величин, на которые ориентирован данный процесс (например, демографическое развитие выражается в росте численности населения, экономическое – в росте общественного производства и увеличении валового продукта и пр.);

2) этот процесс приводится в движение эндогенными, внутренне присущими данному обществу факторами. (Процессы, вызванные экзогенными, находящимися за пределами социальной системы факторами, к числу которых относятся изменения климата, стихийные бедствия, природные катастрофы, эпидемии и т. д., не называются развитием, их правильнее именовать *реактивными* или *адаптационными* процессами [7, С. 458].)

Таким образом, понятие «социальное развитие» уместно использовать только применительно к социальным изменениям прогрессивного характера (рис. 1). При этом основным показателем социального развития в современном мире является улучшение жизни людей, т. е. повышение ее уровня и качества [13, С. 40].

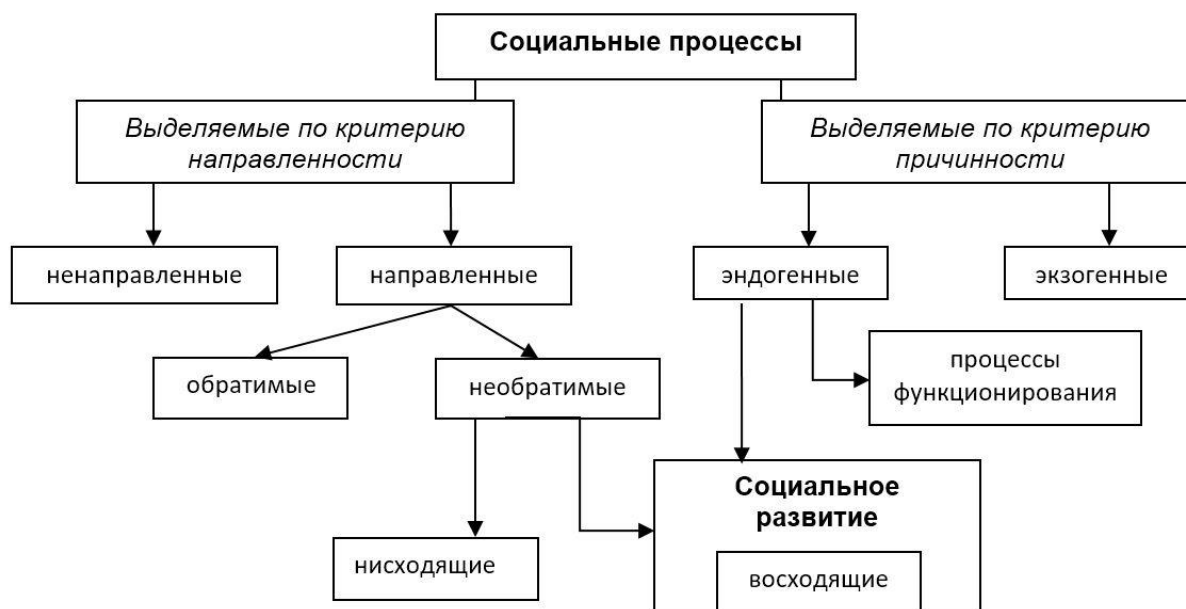


Рис. 1. Социальное развитие как разновидность социальных процессов

Российская Федерация в этом отношении не составляет исключения. Важнейшей целью нашего государства является сегодня решение вопросов повышения уровня и качества жизни граждан, удовлетворения матери-

альных, социальных и духовных потребностей людей.

Уже несколько лет подряд, оглашая свое Послание Федеральному Собранию Российской Федерации, именно на вопросах внут-

ренного социального и экономического развития страны акцентирует внимание Президент Российской Федерации В. В. Путин. Национальный лидер называет главной задачей, стоящей ныне перед российским государством и обществом, сбережение народа, умножение «человеческого капитала как главного богатства России»¹, достижение нового качества жизни для всех поколений, что может быть обеспечено только при условии динамичного развития страны. «Темпы изменений, – отмечает В. В. Путин, – должны нарастать с каждым годом, с ощутимыми для граждан результатами по достижению достойного уровня жизни»², при этом необходимо обеспечить высокие стандарты жизни, равные возможности для каждого человека на всей территории страны.

В этой связи необходимо напомнить, что «уровнем жизни» в узком смысле специалисты называют уровень потребления и степень удовлетворения людьми своих потребностей; в широком смысле это понятие выступает характеристикой уровня человеческого развития (состояния здоровья, возможностей для удовлетворения потребностей) и условий жизнедеятельности (состояние среды обитания и безопасность) [8, С. 26]. Уровень жизни имеет четко выделяемые количественные характеристики: его измеряют на основании величины душевого дохода, количества и качества потребляемых благ и услуг и пр. [13, С. 23].

Понятие «качество жизни» характеризует не только определенный уровень благосостояния, но и другие содержательные стороны жизни, которые весьма важны для современного человека, и которые трудно описать количественно: стремление к самореализации, возможность обладать свободой выбора, приобретать новый опыт и новые возможности ради удовольствия, способность находить равновесие между собственными интересами и интересами общества [14]. Качество жизни исследуется на основе не только количественных показателей, но и субъективных оценок людей, путем выявления уровня их удовлетворенности условиями своей жизнедеятельности, степенью соответствия этих условий потребностям и запросам личности [13, С. 39]. (Понятие «качество жизни», таким образом, содержит некий нормативный компонент, подразумевая эталонный вариант организации жизни [13, С. 27].)

¹ Послание Президента РФ В. В. Путина Федеральному Собранию Российской Федерации 01.12.2016.

² Послание Президента РФ В. В. Путина Федеральному Собранию Российской Федерации 15.01.2020.

К условиям жизнедеятельности, которые могут служить индикаторами качества жизни, исследователи относят: природные – качество природной среды и качество здоровья популяции; социальные – социальный порядок и стабильность, а также общественную безопасность; духовные – качество духовных явлений, воплощенных в общественном и индивидуальном сознании и выражающихся через систему ценностей, ценностных представлений и социальное настроение [13, С. 28].

Не вдаваясь в характеристику каждого из перечисленных индикаторов качества жизни, укажем только, что под *общественной безопасностью* специалисты понимают поддержание правопорядка и законности, тогда как *социальная безопасность* предполагает поддержание стабильности в обществе за счет сдерживания роста имущественного неравенства, недопущения чрезмерного обострения социальных противоречий и обусловленных этим социально-политических катаклизмов. Таким образом, социальная безопасность и общественная безопасность – вещи, безусловно, взаимосвязанные (к примеру, рост имущественного неравенства является предпосылкой роста уровня преступности), но не тождественные.

Как можно видеть, в приведенном выше описании индикаторов качества жизни либо непосредственно упоминается, либо подразумевается безопасность – экологическая, демографическая, общественная, социальная, духовная и пр.

Оно и понятно: различного рода опасности и угрозы в случае их реализации приводят, как правило, к снижению уровня и качества жизни людей. Прежде всего, в связи с причинением ущерба социальной системе (государству, региону, организации, семье), к которой они принадлежат. К примеру, всем известно, что в последние годы неуклонно и существенно растет число людей, ставших жертвами стихийных бедствий, причем, не только «прямыми», но и «косвенными», т. е. пострадавшими в результате разрушения и утраты собственности, уничтожения сельскохозяйственных угодий, рабочих мест и пр. [15, С. 19]. К числу негативных последствий чрезвычайных ситуаций, помимо физических (ухудшение или утрата здоровья), материальных (потеря имущества, собственности), экономических (финансовые потери, утрата или обесценивание сбережений), социальных (потеря работы, служебного положения, статуса), могут относиться еще последствия психологические (стресс, потеря человеком контроля над своей жизненной ситуацией), духовные (например, от деградации окружающей социо-

культурной среды), моральные (изменение жизненного уклада, слом жизненных планов) [16, С. 28–29] и др.

Безопасность, таким образом, может считаться показателем социального развития. Не случайно Стратегией национальной безопасности РФ, введенной в действие Указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683, повышение качества жизни российских граждан отнесено к стратегическим национальным приоритетам³, а саму национальную безопасность Российской Федерации данный документ трактует как состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод граждан РФ, достойные качество и уровень их жизни, суверенитет, независимость, государственная и территориальная целостность, устойчивое социально-экономическое развитие РФ. Как мы видим, процитированный документ напрямую связывает социально-экономическое развитие страны, качество и уровень жизни ее населения с безопасностью.

По своему содержанию социальное развитие представляет собой совокупность экономических, социальных, политических, духовных процессов, развертывающихся в обществе [13, С. 40]. Здесь необходимо подчеркнуть: социальное развитие – это процессы, протекающие не только в социальной, но во всех сферах общества! В этой связи возникает вопрос: если концепт «социальное развитие» охватывает, в числе прочего, и экономические процессы, что следует понимать под социально-экономическим развитием?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо разобраться, какое значение вкладывают обществоведы в понятие «социальное».

На уровне обыденного сознания данное понятие используется в двух значениях – узком и широком. В узком смысле под «социальным» понимают особую, наряду с политической и экономикой, сферу общественной жизни, которая включает в себя образование, здравоохранение, помощь неимущим и пр. В широком смысле оно является синонимом русского слова «общественное», и под ним подразумеваются все разновидности явлений совместной жизни людей: экономические, политические, правовые, религиозные и т. д. Основываясь именно на таком, обыденном понимании, некоторые исследователи приходят к ошибочным выводам, утверждая, например, следующее:

«Поскольку слово “социальное” имеет тот же смысл, что и слово “общественное”, то термин “социальная безопасность”, по сути, тождественен понятию “общественная безопасность”» [17, С. 329]. Это, как мы покажем далее, совсем не так.

Дело в том, что оба приведенных выше толкования научными не являются.

С позиций социологии, которая, наряду с философией, является методологическим основанием всех наук об обществе, «социальное» в узком смысле – это не просто один из сегментов общественной жизни, существующий наряду с политической, экономической и духовной ее сферами. Это те явления и процессы совместной жизни людей, которые обусловлены не стремлением к власти или богатству, что вызывает конкуренцию и соперничество между людьми, а желанием принадлежать к общности, потребностью в солидарности друг с другом, взаимопомощи и поддержке. (Здравоохранение и систему пенсионного обеспечения именно потому относят к социальной сфере, что они наглядно воплощают в себе помощь одних людей другим: как известно, и то, и другое существует за счет выплат здоровыми работающими гражданами налогов в бюджет и последующего перераспределения этих средств в пользу нуждающихся в лечении или материальной поддержке.) «Социальное» в широком смысле означает не просто сумму экономических, политических, правовых, религиозных и подобных им явлений и процессов, а связи, взаимозависимость между ними [18, С. 11–12]. Следовательно, научная интерпретация понятия «социальное» состоит в рассмотрении явлений и процессов, происходящих в различных сферах жизни общества, с точки зрения их *взаимообусловленности*.

Основываясь на научной трактовке понятия «социальное», можно, таким образом, констатировать, что с помощью термина «социально-экономическое развитие» должно выражаться то детерминирующее воздействие, которое оказывают экономические процессы на развитие процессов, протекающих в других подсистемах общества – политической, духовной, социальной (в узком смысле). А также в сфере обеспечения безопасности, коль скоро безопасность личности и общества, как было показано выше, является показателем социального развития.

Действительно, уровень безопасности социальной системы в целом, как и уровень безопасности жизнедеятельности составляющих ее отдельных индивидов обуславливаются уровнем ее экономического развития.

Так, население экономически слабо развитых стран и регионов обладает меньшей

³ Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» от 31.12.2015 № 683.

по сравнению с высокоразвитыми территориями способностью адаптироваться к природным, техногенным, экологическим и иным опасностям и угрозам и является более уязвимым по отношению к ним. Известно, что две трети всех жертв этих бедствий приходится на страны с низким уровнем экономического развития и только 2 % – на развитые государства [15, С. 17].

Специалисты отмечают, что безопасность жизнедеятельности есть прямая функция экономических затрат на ее обеспечение [19, С. 185]. При этом все соответствующие затраты складываются из:

1) затрат на превентивное предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС) в техногенной, природной и социальной сферах путем организации системы безопасности и поддержания ее в готовности;

2) затрат на ликвидацию последствий техногенных, природных и социальных ЧС, а также на ликвидацию негативных последствий необеспечения безопасности жизнедеятельности в других, менее масштабных формах (профессиональные заболевания, травматизм и т. д.) [19, С. 184-187]. Чем выше уровень затрат первого вида, тем меньше риски возникновения заболеваний, травм, смертельных случаев, банкротств, финансового кризиса, техногенной катастрофы, террористического акта, экологической катастрофы и т. д. Иначе говоря, тем выше уровень безопасности людей (и, к слову, тем ниже уровень затрат второго вида).

По мнению специалистов, обеспечение безопасности жизнедеятельности является комплексной проблемой, решение которой предполагает:

– *техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности* за счет высокой надежности техногенной сферы среды обитания человека;

– *экологическое обеспечение безопасности жизнедеятельности* за счет комфортных условий природной сферы среды обитания человека;

– *общественное обеспечение безопасности жизнедеятельности* за счет допустимых условий социальной сферы среды обитания человека [19, С. 184].

Если рассматривать, к примеру, техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности, нельзя не заметить, что множество факторов, обеспечивающих надежность техногенной среды обитания современного человека, – качественное состояние основных фон-

дов, эффективность и безопасность технологических процессов, качество материалов, используемых при строительстве различных объектов (их прочность, воспламеняемость, горючесть и пр.), – все это и многое другое зависит от объема соответствующих экономических затрат и, в конечном итоге, определяется уровнем экономического развития территории.

То же относится и к экологическому обеспечению безопасности жизнедеятельности. Известно, что сегодня в мире имеет место следующее соотношение: увеличение природоохранных затрат на 1–2 % валового национального продукта (ВНП) предотвращает экологический ущерб в 3–5 % объема ВНП [19, С. 186]. Таким образом, имеет место примерно трехкратная прибыльность вложений в экологическую безопасность. (В обеспечении других видов безопасности, связанных с противодействием терроризму, предотвращением аварий в техносфере, эпидемий, по мнению специалистов, рентабельность экономических затрат может быть еще большей.)

Очевидно, что от уровня экономического развития региона напрямую зависит и то, что понимается под общественным обеспечением безопасности жизнедеятельности, т. е. уровень жизни его населения. Обеспечение «допустимых условий социальной сферы среды обитания человека» (иначе говоря, обеспечение достойных уровня и качества жизни людей), безусловно, является важным само по себе, а также с точки зрения недопущения социальных потрясений. Однако, оно обладает значимостью и в силу того, что отсутствие этих условий увеличивает риск возникновения не только социальных, но и иных, например, техногенных ЧС: результаты проведенных нами ранее исследований [20] демонстрируют, что вопросы обеспечения безопасности жизнедеятельности для малоимущих граждан не являются значимыми, тогда как вместе с ростом благосостояния растет осознание людьми важности соблюдения соответствующих норм.

Завершая разговор об обусловленности уровня безопасности социальной системы экономическими факторами, следует согласиться с исследователями, которые утверждают, что безопасность в обществе представляет собой «объективно необходимое социально-экономическое явление», поскольку ее основу составляет трудовая деятельность [6, С. 22].

Итак, не все социальные процессы являются социальным развитием (рис. 2).

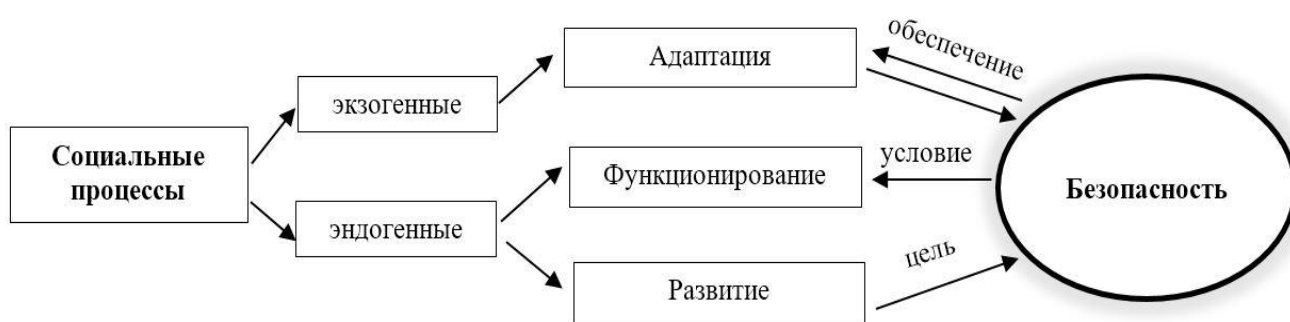


Рис. 2. Взаимосвязь социальных процессов с безопасностью

Помимо процессов развития, в обществе протекают процессы функционирования, являющиеся эндогенными, и адаптационные (реактивные) процессы, обусловленные чаще всего экзогенными факторами, к числу которых относятся изменения климата, стихийные бедствия, эпидемии, техногенные катастрофы. Адаптационные процессы, протекающие в обществе, по существу, и представляют собой специфическую деятельность, направленную на выявление, предупреждение, устранение и отражение опасностей и угроз, способных нанести ущерб социальному объекту. Адаптационные процессы, таким образом, состоят в обеспечении безопасности социальной системы.

Под *социальным развитием* следует понимать лишь процессы, обусловленные эндогенными факторами и приводящие к прогрессивным трансформациям социальной системы.

Социально-экономическим развитием является совокупность протекающих в социальной системе эндогенных и приводящих к ее качественным позитивным изменениям экономических, социальных, политических и духовных процессов при детерминирующей роли экономических процессов. Поскольку критерии прогресса могут различаться в различных типах социальных систем, показатели социально-экономического развития также могут быть различными. Однако, применительно к современным демократическим государствам *основным показателем социально-экономического развития является повышение качества жизни населения.*

Следует признать, что вообще развитие плохо сопрягается с безопасностью: говоря о безопасности системы, обычно подразумевают сохранение ее качественной определенности, тогда как сутью развития является качественное изменение объекта; это изменение, к тому же, может быть и регрессивным,

приводящим объект к деградации и распаду. Однако, в случае с социально-экономическим развитием дело обстоит иначе.

Во-первых, как мы показали выше, понятие социального развития относится исключительно к позитивным трансформациям социального объекта.

Во-вторых, безопасность общества не есть «просто бюджетный монстр, пассивно потребляющий растущую (и абсолютно, и относительно) массу общественных ресурсов. Это явление само становится модулятором научно-технического прогресса, фактором интенсификации производства, стимулом роста производительных сил общества, и этим обеспечивается повышение среднемирового уровня производительных сил и прогресс человечества в целом» [6, С. 24]. Иными словами, необходимость обеспечения безопасности является мощным стимулятором социально-экономического развития.

В-третьих, основным показателем социально-экономического развития современных обществ является повышение качества жизни населения. Поскольку безопасность выступает важнейшей характеристикой условий жизнедеятельности людей и является одним из элементов (составляющих) качества их жизни [21, С. 7], она служит *показателем социально-экономического развития.*

Таким образом, различные социальные процессы по-разному соотносятся с безопасностью:

- процессы адаптации, по сути, представляют собой деятельность по обеспечению безопасности;
- для процессов функционирования безопасность является условием их развертывания;
- для процессов социального развития безопасность является их стимулятором, показателем результативности и целью.

Если вести речь не о социальном, а именно о социально-экономическом развитии, корректное использование этого термина в

Список литературы

1. Урсул А. Д., Урсул Т. А., Бахареv В. В. Безопасность через устойчивое развитие как принцип стратегии национальной безопасности России // Социально-гуманитарные знания. 2009. № 6. С. 242-256.
2. Экономическая безопасность России: методология, стратегическое управление, системотехника: монография / Под науч. ред. С. Н. Сильвестрова. М.: РУСАЙНС, 2018. 350 с.
3. Угрозы и защищенность экономики России: опыт оценки / отв. ред. С. В. Казанцев, В. В. Карпов. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2016. 280 с.
4. Якунина М. В., Крутиков В. К., Посыпанова О. С. Экономическая безопасность региона. Калуга: Издательство «ИП Якунина А. В.», 2015. 104 с.
5. Хаджалова Х. М. Социально-экономическая безопасность и угрозы социальной стабильности в регионе // Экономические науки. 2009. № 9(58). С. 38-41.
6. Экономическая безопасность России / Под ред. В. К. Сенчагова. 2-е изд. М.: Дело, 2005. 896 с.
7. Штопка П. Социология. Анализ современного общества / Пер. с польск. С. М. Червонной. М.: Логос, 2008. 664 с.
8. Козырев Г. И. Социальные процессы и изменения // Социологические исследования. 2005. № 3. <https://www.isras.ru/files/File/Socis/2005-3/kozyrevgi.pdf>.
9. Штопка П. Социология социальных изменений. М., 1996. 416 с.
10. Новая философская энциклопедия / Под ред. В. С. Степина. М.: Мысль, 2001. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/1013.
11. Введение в философию. В 2 ч. Ч. 2 / И. Т. Фролов, Э. А. Араб-Оглы, Г. С. Арефьева [и др.]. М.: Политиздат, 1989. 639 с.
12. Пономарева М. А., Кузьменко Н. Б. К вопросу о содержании анализа социально-экономического развития региона // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2015. № 4(52). С. 86-91.
13. Аргунова В. Н., Панкратова Е. В. Качество жизни населения региона: социологический анализ. Иваново: Ивановский государственный университет. 2010. 196 с.
14. Иноземцев В. Возвращение Европы. В авангарде прогресса: социальная поли-

контексте проблем безопасности предполагает выявление детерминирующей роли экономических факторов в обеспечении безопасности.

тика в ЕС // Мировая экономика и международные отношения. 2002. № 6. С. 62-66.

15. Воробьев Ю. Л., Пучков В. А., Дурнев Р. А. Основы формирования культуры безопасности жизнедеятельности населения. М.: Деловой экспресс, 2006. 316 с.

16. Мозговая А. В. Социология риска: возможности синтеза теории и эмпирического знания // Риск в социальном пространстве: сборник статей. М.: Институт социологии РАН, 2001. С. 9-37.

17. Уразгайев В. Ш. Экономическая безопасность. М.: Юрайт, 2016. 374 с.

18. Социология / Под ред. Д. В. Иванова. М.: Высшее образование, 2005. 326 с.

19. Лобачев А. И. Безопасность жизнедеятельности. М.: Юрайт, 2009. 191 с.

20. Пушина Л. Ю., Тихановская Л. Б., Найденова С. В. Потребность в безопасности как фактор формирования культуры безопасности жизнедеятельности // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2018. № 3(28). С. 9-14.

21. Крянев Ю. В. Безопасность – составляющая качества жизни // Философское образование: Вестник МЦ по русской философии и культуре. 2017. №1(35). С. 5-9.

References

1. Ursul A. D., Ursul T. A., Baharev V. V. Bezopasnost` cherez ustojchivoe razvitie kak princip strategii nacional'noj bezopasnosti Rossii [Security through sustainable development as a principle of Russia's national security strategy]. *Social'no-gumanitarny'e znaniya*, 2009, issue 6, pp. 242-256.
2. *E'konomicheskaya bezopasnost` Rossii: metodologiya, strategicheskoe upravlenie, sistemotexnika* [Russia's economic security: methodology, strategic management, system engineering]. Moscow, 2018. 350 p.
3. *Ugrozy` i zashhishhennost` e'konomiki Rossii: opy`t ocenki* [Threats and security of the Russian economy: assessment experience]. Novosibirsk, 2016. 280 p.
4. Yakunina M. V., Krutikov V. K., Posypanova O. S. *E'konomicheskaya bezopasnost` regiona* [Economic security of the region]. Kaluga, 2015. 104 p.
5. Hадzhalova X. M. *Social'no-e'konomicheskaya bezopasnost` i ugrozy` social'noj stabil'nosti v regione* [Socio-economic

security and threats to social stability in the region]. *E'konomicheskie nauki*, 2009, vol. 9(58), pp. 38-41.

6. *Ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii* [Economic security in Russia] / Pod red. V. K. Senchagova, 2nd ed. Moscow, Delo, 2005. 896 p.

7. Shtompka P. *Sociologiya. Analiz sovremennogo obshchestva* [Analysis of modern society] / Per. s pol'sk. S. M. CHervonnoj. Moscow, Logos, 2008. 664 p.

8. Kozyrev G. I. Social'nye processy i izmeneniya [Social processes and changes]. *Sociologicheskie issledovaniya*, 2005, issue 3, <https://www.isras.ru/files/File/Socis/2005-3/kozyrevgi.pdf> (in Russ.).

9. Shtompka P. *Sociologiya social'nyh izmenenij* [Sociology of social change]. Moscow, 1996. 416 p.

10. *Novaya filosofskaya enciklopediya* [New philosophical encyclopedia] / Pod red. V. S. Stepina. Moscow, Mysl', 2001. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/10

11. *Vvedenie v filosofiyu*. V 2 ch. Ch. 2 [Introduction to philosophy in 2 vol.]. / Frolov I. T., Arab-Ogly E. A., Aref'eva G. S. [et al.]. Moscow, Politizdat, 1989. 639 p.

12. Ponomareva M. A., Kuz'menko N. B. K voprosu o sodержanii analiza social'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona [On the content of the analysis of socio-economic development of the region]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINH)*, 2015, vol. 4(52), pp. 86-91.

13. Argunova V. N., Pankratova E. V. *Kachestvo zhizni naseleniya regiona: sociologicheskiy analiz* [Quality of life of the region's population: a sociological analysis]. Ivanovo, Ivanovskij gosudarstvennyj universitet, 2010, 196 p.

14. Inozemcev V. *Vozvrashhenie Evropy`*. V avangarde progressa: social'naya politika v ES [The Return Of Europe. At the forefront of progress: social policy in the EU]. *Mirovaya e'konomika i mezhdunarodny'e otnosheniya*, 2002, issue 6, pp. 62-66.

15. Vorobyev Yu. L., Puchkov V. A., Durnev R. A. *Osnovy formirovaniya kultury bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti naseleniya* [Bases of formation of culture of safety of life activity of the population]. Moscow, 2006. 316 p.

16. Mozgovaya A. V. *Sociologiya riska: vozmozhnosti sinteza teorii i e'mpiricheskogo znaniya* [Sociology of risk: possibilities of synthesis of theory and empirical knowledge]. *Risk v sotsial'nom prostranstve: sbornik statey*. Moscow, 2001, pp. 9-37.

17. Urazgaliev V. Sh. *Ekonomicheskaya bezopasnost'* [Economic safety]. Moscow, YUrajt, 2016, 374 p.

18. *Sociologiya* [Sociology] / Pod red. D. V. Ivanova. Moscow: Vysshee obrazovanie, 2005, 326 p.

19. Lobachev A. I. *Bezopasnost` zhiznedeyatel'nosti* [Life safety]. Moscow, 2009. 191 p.

20. Pushina L. Yu., Tixanovskaya L. B., Najdenova S. V. *Potrebnost` v bezopasnosti kak faktor formirovaniya kul'tury` bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [The need for security as a factor in the formation of a culture of life safety]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii (Sovremenny'e problemy` grazhdanskoj zashchity`)*, 2018, vol. 3(28), pp. 9-14.

21. Kryanev Yu. V. *Bezopasnost` – sostavlyayushhaya kachestva zhizni* [Safety is a component of quality of life]. *Filosofskoe obrazovanie: Vestnik MCz po russkoj filosofii i kul'ture*, 2017, vol. 1(35), pp. 5-9.

Пушина Лада Юрьевна

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

кандидат социологических наук, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС

E-mail: Bas2808@yandex.ru

Lada Pushina Yuryevna

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 sociological sciences, associate professor

E-mail: Bas2808@yandex.ru

Закинчак Андрей Игоревич

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

кандидат экономических наук, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС

E-mail: zakinchak@mail.ru

Zakinchak Andrey Igorevich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of economics sciences, associate professor

E-mail: zakinchak@mail.ru

УДК 614.847.12

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПОЖАРНЫХ НА ПРИМЕРЕ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Р. М. ШИПИЛОВ, С. Г. КАЗАНЦЕВ, Д. Ю. ЗАХАРОВ, А. О. СЕМЕНОВ

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

E-mail: rim-sgpu@rambler.ru, skorpsem@yandex.ru, mr.dmitriyzakharov@mail.ru, ao-semenov@mail.ru

Качественное управление профессиональной подготовкой в пожарно-спасательных гарнизонах предусматривает необходимость систематизации и существенной трансформации процедур оценки владения практическими умениями и навыками пожарных, что определяет выбор наиболее важных критериев и моделей эффективности. Причиной этому послужил ряд объективных признаков, а именно, повышение требований со стороны государства к квалификации и физической подготовленности личного состава противопожарной службы, оптимизация старых и внедрение новых методов подготовки пожарных, разработка и внедрение новых тренировочных комплексов.

В настоящее время оценка качества профессиональной подготовки подразделений пожарно-спасательных гарнизонов реализуется путем отработки контрольных упражнений пожарными, для чего отводится недостаточное времени. Таким образом, с целью повышения объективности оценивания уровня владения практическими умениями и навыками пожарных и спасателей необходимо разработать систему оптимального контроля. Всё это на сегодняшний момент требует инновационных подходов к решению данных проблем.

В связи с этим в работе представлен количественный анализ нормативов по пожарно-строевой, пожарно-спасательной и тактико-специальной подготовке для личного состава пожарной охраны ГПС МЧС России. Проведено исследование по нормативам пожарно-спасательной подготовке на примере зарубежных стран. Представлено обоснование в необходимости внесения изменений и разработки новых нормативов для личного состава пожарной охраны ГПС МЧС России.

Ключевые слова: пожарно-спасательная подготовка, нормативы, анализ, методика обучения, упражнения.

OVERVIEW OF REGULATORY TASKS FOR FIRE-BUILDING TRAINING FOR FIRE-FIGHTERS ON THE EXAMPLE OF FOREIGN COUNTRIES

R. M. SHIPILOV, S. G. KAZANTSEV, D. YU. ZAKHAROV, A. O. SEMENOV

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

E-mail: rim-sgpu@rambler.ru, skorpsem@yandex.ru, mr.dmitriyzakharov@mail.ru, ao-semenov@mail.ru

The need for systematization and serious transformation of the system for checking and assessing the practical skills of firefighters, and the choice of the most adequate criteria for evaluating the results, requires adjustments. The reason for this was a number of objective signs, namely, the increased requirements on the part of the state for the qualifications and physical preparedness of the personnel of the fire service, the optimization of old and the introduction of new methods of training firefighters, the development and implementation of new training complexes.

Currently, not enough time is allocated to the development of the very mechanism for developing control exercises for firefighters and rescuers. Thus, in order to increase the objectivity of assessing the level of practical skills and abilities of firefighters and rescuers, it is necessary to develop an optimal control system. All this at the moment requires innovative approaches to solving these problems.

In this regard, the paper presents a quantitative analysis of the standards for fire fighting, fire fighting and rescue and tactical and special training for the fire brigade personnel of the State Fire Service of the

Russian Emergencies Ministry. A study was carried out on the standards of fire and rescue training on the example of foreign countries. The rationale for the need to amend and develop new standards for the fire brigade personnel of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia is presented.

Key words: fire and rescue training, standards, analysis, teaching method, exercises.

Актуальность

В современных условиях потребность в высококвалифицированных пожарных, в разных странах, несомненно высока. Одним из важных составляющих при управлении профессиональной подготовкой личного состава пожарной охраны является необходимость повышения уровня владения профессиональными компетенциями в области ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ (АСР)^{1,2}. На первый план выступает система проверки уровня владения практическими умениями и навыками [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], как один из основных, ключевых этапов подготовки личного состава.

При управлении профессиональной подготовкой пожарных важное значение имеет система проверки и оценки владения практическими умениями и навыками пожарных, которая прошла сложный путь своего развития. Каждый раз, на этапе её становления, разрабатывались инновационные концепции обоснования выбора контрольных упражнений и временных показателей, раскрывающих широкое разнообразие концептуальных подходов к становлению нормативной системы противопожарной службы.

Как показывает практика и анализ прошлых лет [8, 9, 10], серьёзные противоречия возникают между методикой подбора тестовых заданий (упражнений) и способами их оценки. Необходимость в систематизации и серьёзной трансформации системы проверки и оценки владения практическими умениями и навыками пожарных, и выбор наиболее адекватных кри-

териев оценивания результатов, требует внесения корректировок. Причиной этому послужил ряд объективных признаков, а именно, повышение требований со стороны государства к квалификации и физической подготовленности личного состава противопожарной службы, оптимизация старых и внедрение новых методов подготовки пожарных, разработка и внедрение новых тренировочных комплексов. Всё это на сегодняшний момент требует инновационных подходов к решению данных проблем.

В теоретико-методологическом аспекте недостаточно изученными остаются вопросы, связанные с дифференциацией критериев, основанных на разработке оценочных практических нормативов пожарных (А. В. Терехнёв, 2000; Д. А. Бортнев, 2005). В основном учёными и практиками ведётся значительная поисковая работа в сфере психологической подготовки пожарных: Михайловой В. В. (2008), Суриной А. Е. (2008), Курносова Г. В. (2009), Цечоева Х. И. (2011); исследования, как физической подготовки, так и профессионально-прикладной физической подготовки личного состава противопожарной службы: Соколова Е. Е. (2006), Аганова С. С. (2000, 2008), Динаева Б. М. (2009), Жегаловой М. Н. (2012), Руденко Г. В. (2013).

Основу составлений системы проверки уровня владения практическими умениями и навыками является методика разработки батареи тестов. Она строится на глубоком анализе имеющихся нормативных заданиях и фрагментарном изучении отдельных элементов упражнения.

В настоящее время разработке самому механизму отработки контрольных упражнений пожарных и спасателей отводится не достаточно времени. Таким образом, с целью повышения объективности оценивания уровня владения практическими умениями и навыками пожарных и спасателей необходимо разработать систему оптимального контроля. Это в свою очередь вызывает достаточно серьёзные объективные противоречия, определяя актуальность темы исследования.

¹ Нормативы по пожарно-строевой и тактико-специальной подготовке для личного состава федеральной противопожарной службы (утвержденные Главным военным экспертом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий генерал-полковником П.В. Платом от 10.05.2011 № 18-4-3-2725).

² Приказ Министерства образования и науки РФ от 17 августа 2015 г. № 851 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность (уровень специалитета)».

Цель исследования

Целью исследования является анализ существующих нормативных заданий в рамках оценки эффективности управления профессиональной подготовкой, а также научное обоснование необходимости разработки новых нормативных заданий для совершенствования профессиональной подготовки личного состава пожарной охраны.

Гипотеза исследования

Заключается в том, что анализ имеющихся нормативов пожарно-строевой, пожарно-спасательной и тактико-специальной подготовке выявит необходимость в разработке новых нормативов, которые, в свою очередь позволят обеспечить поэтапное изучение упражнений, что окажет существенное влияние на готовность личного состава пожарной охраны.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ нормативов по пожарно-строевой, пожарно-спасательной и тактико-специальной подготовке для личного состава пожарной охраны ГПС МЧС России.

2. Проанализировать нормативы по направлениям пожарно-спасательной подготовке на примере зарубежных стран.

3. Обоснование в необходимости разработки нормативов для личного состава пожарной охраны ГПС МЧС России.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе анализа нормативов (1994 г.) по пожарно-строевой подготовке для личного состава главного управления государственной противопожарной службы МВД России (ГУГПС МВД России)³ принципиальным является объективная оценка различных сторон деятельности пожарно-спасательных подразделений (табл. 1).

Таблица 1. Нормативы по пожарно-строевой подготовке (утв. заместителем начальника ГУГПС МВД России генерал-майором внутренней службы Е.Е. Кирюханцевым 28.12.1994)

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Всего нормативов		51	19	32
1.	Нормативы с пожарной техникой и пожарно-техническим вооружением (1-23)	23	18	5
2.	Нормативы по боевому развертыванию (24-28)	5	1	4
3.	Нормативы по боевому развертыванию от основных пожарных автомобилей (29-52)	23	-	23
Обязательные нормативы		7	4	3

Представленные нормативные задания рассматривали наиболее важные вопросы подготовленности пожарных в условиях профессиональной деятельности. В практике, количество специальных заданий составляло 51 норматив (из них 19 носили индивидуальный характер и 32 групповые). Нормативы №№ 1, 4, 11, 19, 20, 30, 36 являлись обязательными для выполнения при проведении инспектирования, к ним относились:

- норматив № 1 надевание боевой одежды и снаряжения;
- норматив № 4 сбор и выезд по тревоге (с посадкой в автомобиль за воротами гаража);
- норматив № 11 закрепление спасательной веревки за конструкцию здания;
- норматив № 19 подъем по штурмовой лестнице на 4-й этаж учебной башни;

– норматив № 20 подъем по установленной выдвижной лестнице в окно 3-го этажа учебной башни;

– норматив № 30 установка автоцистерны на водоем;

– норматив № 36 боевое развертывание от автоцистерны с подачей одного ствола «Б».

Очевидно, что степень и качество составления нормативов того времени, исходило из упражнений, характеризующих на тот момент, особо важные умения и навыки сотрудников, участвующих и привлекаемых (допущенных) к организации тушения пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. При этом выбор основных нормативов для пожарных, позволяет выделять их в отдельную группу с учётом необходимости оценки наиболее

³ Нормативы по пожарно-строевой подготовке (утв. ГУГПС МВД России 28.12.1994 № 20/3.1/2188).

лее важных сторон профессиональной подготовленности.

Рассматриваемые в табл. 1 нормативы по пожарно-строевой подготовке не предусматривали контроль при подготовке газодымозащитников в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД).

С этой целью в 1999 году разработаны контрольные упражнения (табл. 2), позволяющие оценить наиболее важные стороны подготовленности газодымозащитников с использованием СИЗОД⁴.

В 2008 году комплекс нормативных заданий был доработан с учетом специфики выполнения боевых задач газодымозащитниками. Таким образом были разработаны новые

нормативы, подлежащие отработке и оценке выполнения при подготовке газодымозащитников⁵. В перечень заданий вошло 14 нормативов (из них 9 носили индивидуальный характер и 5 групповой) (табл. 3).

В 2011 году утверждаются нормативы по пожарно-строевой (ПС) и тактико-специальной подготовке (ТСП) для личного состава ФПС⁶, которые включают в себя уже 82 упражнения, разделённые на 11 категорий (разделов) в зависимости от действий пожарных и вида, и условий выполняемых работ (табл. 4). В отдельную категорию добавляются нормативы для женщин (оказание первой помощи).

Таблица 2. Перечень нормативов, подлежащих отработке и оценке выполнения при подготовке газодымозащитников (утв. начальником главного управления Государственной противопожарной службы МВД России генерал-майором внутренней службы Е.А. Серебренниковым)

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Всего нормативов		14	9	5
1.	Нормативы с пожарной техникой и пожарнотехническим вооружением	6	5	1
2.	Нормативы по развертыванию сил и средств от специальных пожарных автомобилей	3	-	3

Таблица 3. Перечень нормативов, подлежащих отработке и оценке выполнения при подготовке газодымозащитников (утв. Главным военным экспертом МЧС России генерал-полковником П.В. Платом 30.06.2008)

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Всего нормативов		14	9	5
1.	Нормативы с пожарной техникой и пожарнотехническим вооружением (1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 14)	9	9	-
2.	Нормативы по развертыванию сил и средств от специальных пожарных автомобилей (4, 5, 6, 12, 13)	5	-	5

⁴ Приказ главного управления Государственной противопожарной службы МВД РФ от 09.11.99 г. № 86 «Об утверждении нормативных актов по газодымозащитной службе Государственной противопожарной службы МВД России».

⁵ Методические рекомендации по организации и проведению занятий с личным составом газодымозащитной службы (ГДЗС) федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России (утв. Главным военным экспертом МЧС России, генерал-полковником Платом П.В. от 30.06.2008 № 2-4-60-14-18).

⁶ Нормативы по пожарно-строевой и тактико-специальной подготовке для личного состава федеральной противопожарной службы (утв. Главным военным экспертом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий генерал-полковником П.В. Платом от 10.05.2011 № 18-4-3-2725).

Таблица 4. Нормативы по пожарно-строевой и тактико-специальной подготовке для личного состава федеральной противопожарной службы (утв. Главным военным экспертом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий генерал-полковником П.В. Платом 10.05.2011)

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Всего нормативов		82	47	41
1.	Надевание боевой и специальной одежды и снаряжения (1.1-1.3)	3	3	1
2.	Сбор и выезд по тревоге с посадкой в автомобиль за воротами гаража (2.1)	1	-	1
3.	Действия с напорными пожарными рукавами (3.1-3.4)	4	2	2
4.	Действия со средствами спасения (4.1-4.10)	10	8	2
5.	Действия с пожарными лестницами (5.1-5.12)	12	8	4
6.	Преодоление 100 метровой полосы с препятствиями (6)	1	1	-
7.	Развертывание насосно-рукавных систем (7.1-7.19)	19	-	19
8.	Развертывание первичных средств пожаротушения (8.1-8.4)	4	4	-
9.	Развертывание пожарного и аварийно-спасательного оборудования (9.1-9.5)	5	-	5
10.	Радиационная, химическая и биологическая защита (10.1-10.16)	16	14	7
11.	Оказание первой помощи (11.1-11.7)	7	7	-
Обязательные нормативы		10	7	4

В редакции 2011 года количество обязательных нормативов увеличилось на три. К 7 известным нормативам добавились три норматива из 9, 10 и 11 разделов соответственно:

- норматив № 1.1 надевание боевой и специальной одежды и снаряжения;
- норматив № 2.1 сбор и выезд по тревоге с посадкой в автомобиль за воротами гаража;
- норматив № 3.2 действия с напорными пожарными рукавами (прокладка магистральной рукавной линии диаметром 77 мм);
- норматив № 4.3 действия со средствами спасения (закрепление спасательной веревки за конструкцию здания);
- норматив № 5.7 и № 5.8 действия с пожарными лестницами (№ 5.7 подъем по штурмовой лестнице в 4-й этаж учебной башни, № 5.8 подъем по установленной выдвижной лестнице в 3-й этаж учебной башни);

- норматив № 7.3 развертывание насосно-рукавных систем (установка автоцистерны на водоем);
- норматив № 9.3 развертывание пожарного и аварийно-спасательного оборудования (перекусывание стальной арматуры d 18 мм при помощи ГАСИ);
- норматив № 10.4 радиационная, химическая и биологическая защита (надевание общевогойского защитного комплекта и фильтрующего противогаза);
- норматив № 11.2 оказание первой помощи (наложение первичной повязки).

С целью уточнения и сопоставления нормативных требований ФПС МЧС России с требованиями к уровню подготовленности личного состава зарубежных стран, нами были проанализированы стандарты для квалификации пожарных и спасателей по Республике Казахстан, Белоруссии и Украины, также была рассмотрена система подготовки личного состава противопожарной службы США и Германии.

Анализ нормативов по пожарно-спасательной подготовке для личного состава Министерства внутренних дел Республики Казахстан (табл. 5)⁷ и нормативов по пожарной аварийно-спасательной и физической подготовке Республики Беларусь (табл. 6)⁸ показал, что нормативные задания представлены в формате рассмотрения наиболее важных вопросов подготовленности пожарных и спасателей в условиях их профессиональной деятельности.

Нормативы по пожарно-спасательной подготовке для личного состава Министерства внутренних дел Республики Казахстан (табл. 5) объединены в три большие группы. В практике, количество специальных заданий составляло 57 норматив (из них 24 носят индивидуальный характер и 35 групповой). Нормативы №№ 1, 4, 11, 19, 20, 30, 36 являются обязательными для выполнения при проведении инспектирования,

итоговых проверках деятельности сил и средств ОГПС, а также плановых и контрольных проверках, занятиях и учениях (норматив № 1 надевание боевой одежды и снаряжения; норматив № 4 сбор и выезд по тревоге (с посадкой в автомобиль за воротами гаража); норматив № 11 закрепление спасательной веревки за конструкцию здания (одним из четырех способов); норматив № 19 подъем по штурмовой лестнице на 4-й этаж учебной башни; Норматив № 20 подъем по установленной выдвижной лестнице в окно 3-го этажа учебной башни, норматив № 30 установка пожарной автоцистерны (АНР) на водоем с присоединением 2-х (по 4 м) всасывающих рукавов и сетки; норматив № 36 развертывание от автоцистерны с подачей одного ствола «Б» прокладка магистральной линии на 3 рукава Ø 77 мм и рабочей линии на 2 рукава).

Таблица 5. Наставление по пожарно-спасательной подготовке (утв. приказом председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан 25.05.2015)

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Всего нормативов		57	24	35
1.	Нормативы с пожарной техникой и пожарно-техническим вооружением (1-23)	26	23	5
2.	Нормативы по развертыванию сил и средств от специальных пожарных автомобилей (24-28)	5	1	4
3.	Нормативы от специальной пожарной техники (29-54)	26	-	26
Обязательные нормативы		7	4	3

Таблица 6. Нормативы (приказ Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь 24.10.2005)

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Нормативы по пожарной аварийно-спасательной подготовке				
Всего нормативов		45	27	18
1.	Нормативы с боевой одеждой и снаряжением, защитными средствами (1-5)	6	5	1
2.	Норматив сбор и выезд по тревоге (6-8)	3	-	3

⁷ Приказ Председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан от 25 мая 2015 года № 123 «Об утверждении Наставления по пожарно-спасательной подготовке».

⁸ Приказ министерства по чрезвычайным ситуациям республики Беларусь 20.03.2005 № 50 «Пожарной аварийно-спасательной и физической подготовке» (национальный реестр правовых актов республики Беларусь, 13.04.2005, № 56, рег. № 8/12354 от 31.03.2005).

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
3.	Нормативы со спасательной веревкой и спусковыми устройствами (9-14)	6	6	-
4.	Нормативы со спасательными лестницами (15-20)	6	5	1
5.	Нормативы для личного состава газодымо-защитной службы (21-29)	10	3	7
6.	Нормативы с аварийно-спасательным оборудованием (30-35)	6	-	6
7.	Нормативы по оказанию первой медицинской помощи (36-43)	8	8	-
Нормативы выполнения учебных упражнений по боевому развёртыванию отделений и дежурных смен				
Всего нормативов		26	-	26
1.	Нормативы боевого развёртывания отделений и дежурных смен (1-22)	22	-	22
2.	Боевое развёртывание отделений и дежурных смен с применением изолирующих противогазов (23-26)	4	-	4
Отметим, что отдельным приложением вынесен перечень упражнений и нормативов по физической подготовке для работников (мужчин и женщин) органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь разных возрастных групп				

Что касается нормативов по подготовке личного состава Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (табл. 6), то их количество значительно шире по сравнению с аналогичными нормативными заданиями для личного состава Министерства внутренних дел Республики Казахстан. Это позволило разграничить критерии оценки владения умениями и навыками, как по пожарной аварийно-спасательной подготовке, по боевому развёртыванию отделений и дежурных смен, так и физической подготовке для работников (мужчин и женщин) органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. В результате этого разграничения, на

наш взгляд, расширяется уровень контроля качества отработки личным составом приемов и способов действий в условиях оперативно-тактических решений на пожаре, качества овладения штатным пожарным оборудованием и аварийно-спасательным инструментом, а также уровня физической подготовленности личного состава. Проведённый анализ нормативов по пожарно-спасательной подготовке Украины (табл. 7)⁹ показал, что нормативные задания представлены в формате рассмотрения наиболее важных вопросов подготовленности пожарных и спасателей в условиях их профессиональной деятельности по пожарно-спасательным формированиям.

Таблица 7. Нормативы по пожарно-спасательной подготовке Украины 20.11.2015

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава пожарно-спасательных подразделений (частей)				
Всего нормативов		31	14	17
1.	Сбор караула (используется при проведе-	1	-	1

⁹ Міністерство внутрішніх справ України Наказ 20.11.2015. № 1470. м. Київ Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 09 грудня 2015 р. за № 1528/27973 «Про затвердження Нормативів виконання навчальних вправ з підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту та працівників Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України до виконання завдань за призначенням».

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
	нии внезапных проверок) (1.1)			
2.	Норматив по сигналу «Тревога» (1.2)	2	-	2
3.	Надевание боевой одежды и снаряжения (2.1, 2.2)	3	2	1
4.	Нормативы со спасательной веревкой (3.1-3.5)	5	5	-
5.	Нормативы с пожарными лестницами (4.1-4.7)	7	7	-
6.	Нормативы подготовке к боевому развертыванию отделений на пожарно-спасательных автомобилях (5.1-5.3)	3	-	3
7.	Нормативы по боевому развертыванию отделений без установки пожарно-спасательного автомобиля на источник воды (6.1-6.3)	3	-	3
8.	Нормативы по боевому развертыванию отделений с установкой пожарно-спасательного автомобиля на пожарный гидрант (7.1-7.3)	3	-	3
9.	Нормативы по боевому развертыванию отделений с установкой пожарно-спасательного автомобиля на водоем (8.1-8.2)	2	-	2
10.	Нормативы по боевому развертыванию отделений на автомобиле порошкового тушения (9.1-9.2)	2	-	2
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава аварийно-спасательных служб				
Всего нормативов		65	20	45
1.	Нормативы для аварийно-спасательных подразделений (1.1-1.46)	46	11	35
2.	Нормативы для групп (отделений) горно-спасательных (аварийно-спасательных) работ (2.1-2.9)	9	3	6
3.	Нормативы для групп высотно-верхолазных и спасательных работ (3.1-3.10)	10	6	4
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава пиротехнических подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		11	4	7
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава пиротехнических подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (1-11)	11	4	7
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава кинологовических подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		6	-	6
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава кинологовических подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (1-6)	6	-	6

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава, участвующего в поисково-спасательных работах на водных объектах				
Всего нормативов		10	10	-
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава, участвующего в поисково-спасательных работах на водных объектах (1-10)	10	10	-
Нормативы выполнения учебных упражнений личным составом подразделений радиационной, химической и биологической защиты Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		33	13	20
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений личным составом подразделений радиационной, химической и биологической защиты Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (1-14)	33	13	20
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава авиационных подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		37	37	-
1.	Нормативы для должностных лиц аэродромно-технического обеспечения полетов (1.1-1.7)	7	7	-
2.	Нормативы для должностных лиц поисково-спасательной и парашютно-десантной служб авиационных спасателей (2.1-2.2)	2	2	-
3.	Нормативы для должностных лиц связи и радиотехнического обеспечения полетов (3.1-3.28)	28	28	-
Нормативы выполнения учебных упражнений личного состава подразделений связи Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		28	6	22
1.	Норматив по подготовке к работе и настройке радиостанций (1.1-1.5)	5	5	-
2.	Норматив для работы на телеграфных аппаратах, прием на слух и передачи датчиком Р-010 и ключом (2.1-2.15)	15	1	14
3.	Нормативы по развертыванию радиостанций (3.1-3.4)	4	-	4
4.	Нормативы задания по работе на средствах связи (4.1-4.4)	4	-	4
Нормативы выполнения учебных упражнений личным составом технических служб Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		35	20	15
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений личным составом технических служб Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (1-35)	35	20	15
Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава ремонтно-восстановительных подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		11	11	-
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений для подготовки личного состава ремонтно-восстановительных подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (1-11)	11	11	-

№ п/п	Наименование раздела нормативов	Количество	Индивидуальные	Групповые
Нормативы выполнения учебных упражнений по медицинской подготовке для личного состава подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты				
Всего нормативов		6	6	
1.	Нормативы выполнения учебных упражнений по медицинской подготовке для личного состава подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (1-6)	6	6	-
вынесен перечень упражнений и нормативов по физической подготовке для личного состава подразделений Оперативно-спасательной службы гражданской защиты (мужчин и женщин)				

Что касается анализа критерия оценки умений и навыков личного состава зарубежных стран, на примере стандарта профессиональной квалификации пожарного, в США¹⁰ и Германии¹¹ согласно изученным документам для профессиональных пожарных и пожарных добровольцев, чьи обязанности носят в основном структурный характер, определяются минимальные требования к их производительности труда (JPR). Однако критерий оценки в рамках временных показателей в этих странах не рассматривается.

Таким образом мы можем говорить, что оценка уровня подготовленности личного состава противопожарной службы в виде нормативных заданий или стандартов присущи для всех государств нами рассмотренных. Каждый из проанализированных критериев отражает потребность государства в высококвалифицированных кадрах противопожарных служб.

Заключение.

1. Сравнивая нормативы ГПС МЧС России по ПС и ТСП 2011 года¹² с норматива-

ми¹³, утвержденными 17 лет назад, мы пришли к выводу, что ни один норматив не претерпел изменения по временным критериям. Это не может не вызывать вопросы в связи с тем, что с 1994 года по сегодняшний день изменились не только требования к пожарной технике (первичным средствам пожаротушения; мобильным средствам пожаротушения; пожарному оборудованию; средствам индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре; пожарному инструменту), но и сама система управления профессиональной подготовкой, устанавливающая требования.

2. Анализ нормативных заданий зарубежных стран (Белоруссии¹⁴, Казахстана¹⁵, Украины¹⁶) показал, что нормативы представлены законодательными документами, что в свою очередь является обязательными к исполнению. Более детальный анализ норматив-

¹⁰ Nanijnal Fire Protection Faociation 1001 «Standard for Fire Fighter Professional Qualifications» 2019. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1001>.

¹¹ FwDV 1 – Feuerwehr-Dienstvorschrift 1 Grundtätigkeiten – Lösch – und Hilfeleistungseinsatz – Stand September 2006 ergänzt 2007-Vom 9. Juli 2007. https://www.umwelt-online.de/recht/anlasi/sicher/fwdv001_ges.htm.

¹² Нормативы по пожарно-строевой и тактико-специальной подготовке для личного состава федеральной противопожарной службы (утвержденные Главным военным экспертом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий генерал-полковником П.В. Платом от 10.05.2011 № 18-4-3-2725).

¹³ Нормативы по пожарно-строевой подготовке. (утверждены ГУГПС МВД России 28.12.1994 № 20/3.1/2188).

¹⁴ Приказ министерства по чрезвычайным ситуациям республики Беларусь 20.03.2005 № 50 «Пожарной аварийно-спасательной и физической подготовке» (национальный реестр правовых актов республики Беларусь, 13.04.2005, № 56, рег. № 8/12354 от 31.03.2005).

¹⁵ Приказ Председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан от 25 мая 2015 года № 123 «Об утверждении Наставления по пожарно-спасательной подготовке».

¹⁶ Міністерство внутрішніх справ України Наказ 20.11.2015. № 1470. м. Київ Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 09 грудня 2015 р. за № 1528/27973 «Про затвердження Нормативів виконання навчальних вправ з підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту та працівників Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України до виконання завдань за призначенням».

ных заданий показал, что нормативы по ПС и ТСП Республики Казахстан (2015) в целом находят своё отражение в нормативах представленных Кирюханцевым Е.Е. по ПС и ТСП для ГУГПС МВД России (1994). Нормативные задания Республика Беларусь (2005) имеют значительные отличия от нормативных заданий ГПС МЧС России (2011) в более высоких требованиях (временные показатели). Наиболее существенные отличия от нормативов ГПС МЧС России (2011) имеют нормативы по ПС и ТСП Украины (2015). Нормативы Украины по ПС и ТСП значительно детализированы и разбиты по направлениям деятельности подразделений. Также хотелось обратить внимание, что в нормативы по ПС и ТСП Республики Беларусь и Украины органично включены нормативные задания по физической подготовке и газодымозащитной службе.

Что касается стран США¹⁷ и Германии¹⁸, то для личного состава пожарной охраны определены минимальные требования к производительности труда (JPR) и критерии оценки в рамках временных показателей в этих странах не рассматривается.

3. Проведённые исследования выявили особенности подготовки личного состава противопожарной службы, как России, так и зарубежных стран, а также определили пути дальнейшего совершенствования системы подготовки ГПС МЧС России. В ходе исследования были выявлены ряд недостатков нормативных заданий по ПС и ТСП ГПС МЧС России, которые требуют доработки. Необходимо обратить особое внимание на существенный недостаток в единой системе проверки уровня владения практическими умениями и навыками, а именно:

– Рассматриваемые нормативы не входят ни в один нормативный документ и как следствие не являются обязательными к исполнению. Это вызывает серьёзные противоречия между самой системой подготовки личного состава и непосредственно, уровня оценки овладения освоенными компетенциями.

В связи с этим возникла серьёзная необходимость в разработке и утверждении распорядительного документа для личного состава пожарной охраны, который бы учитывал систему проверки и оценки владения практическими умениями и навыками пожарных и спасателей.

– Имеющиеся нормативные задания по подготовке газодымозащитников, по ПС и ТСП, по физической подготовке, газодымозащитной службе, первой помощи и по гражданской обороне определяются разными документами, в том числе методическими рекомендациями. На наш субъективный взгляд это не рационально. Таким образом существует потребность в новой редакции, где все нормативы будут объединены в единый формат.

– В связи с изменениями требований государственных стандартов к пожарной технике (мобильным средствам пожаротушения, пожарному оборудованию и аварийно-спасательному инструменту и т.д.) возникла необходимость в обновлении условий выполнения нормативов и их временных показателей.

– Также с расширением пожарно-спасательных формирований, а именно в 2010 году для повышения эффективности реагирования на пожары и ЧС с использованием высокоманевренных средств в МЧС России созданы группы экстренного реагирования (мотогруппы). Данный вид подразделений входит в 37 регионов нашей страны. Для определения единых требований по подготовке к таким группам в общий перечень нормативов по профессиональной подготовке должны войти нормативы для мотогрупп.

Все это требует серьёзных подходов к решению задачи по пересмотру и внесению корректировок (уточнений) в имеющуюся систему нормативных заданий ГПС МЧС России, направленную на качественное овладение личным составом практическими умениями и навыками.

¹⁷ Nanijnal Fire Protection Faociation 1001 «Standard for Fire Fighter Professional Qualifications» 2019. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1001>.

¹⁸ FwDV 1 – Feuerwehr-Dienstvorschrift 1 Grundtätigkeiten – Lösch – und Hilfeleistungseinsatz – Stand September 2006 ergänzt 2007-Vom 9. Juli 2007. https://www.umwelt-online.de/recht/anlasi/sicher/fwdv001_ges.htm.

Список литературы

1. Ашкинази С. А., Шипилов Р. М., Кузнецов Б. В. К вопросу о совершенствовании процесса физической подготовки сотрудников образовательных учреждений Государственной противопожарной службы МЧС России // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгофта. 2016. № 1(131). С. 18–22.
2. Теребнёв В. В., Грачёв В. А., Шехов Д. А. Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строевая подготовка. Екатеринбург: Калан, 2013. 300 с.
3. Шарабанова И. Ю., Шипилов Р. М., Харламов А. В. Применение новых технических средств обучения в подготовке будущих пожарных и спасателей, работающих в экстремальных ситуациях // В мире научных открытий. 2014. № 9 (57). С. 90.
4. Шарабанова И. Ю., Левашов Н. Ф. Психофизиологические механизмы состояния профессиональной готовности. *European social science journal*, 2013, vol. 6 (34), pp. 71–74.
5. Разработка технических средств для обучения и контроля адаптационной мобильности курсантов вузов ГПС МЧС России / Р. М. Шипилов, С. Г. Казанцев, И. Ю. Шарабанова [и др.]. *European social science journal*, 2016, issue 1, pp. 332–335.
6. Особенности формирования профессионального мастерства пожарных и спасателей в рамках совершенствования методики обучения подъему по штурмовой лестнице / Р. М. Шипилов, И. Ю. Шарабанова, Е. Е. Маринич [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 10-1 (64). С. 57–66.
7. Разработка дополнительных нормативных заданий и их временных показателей к работе со штурмовой лестницей / Р. М. Шипилов, С. Г. Казанцев, А. С. Давиденко [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (31). С. 106–112.
8. Кадыров Р. М., Михаил И. И. Нормативные технологии физической подготовки военнослужащих // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. 2014. № 3. С. 105–114.
9. Гласс Дж., Стэнли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. М.: Изд-во «Прогресс», 1976. 495 с.
10. Кадыров Р. М. Критерии проверки и оценки физической подготовленности военнослужащих. М.: МО РФ, 1991. 198 с.
11. protsessa fizicheskoy podgotovki sotrudnikov obrazovatel'nykh uchrezhdeniy Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii [On the issue of improving the process of physical training of employees of educational institutions of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Uchenyye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgofta*, 2016, vol. 1(131), pp. 18–22.
12. Terebnov V. V., Grachov V. A., Shekhov D. A. *Podgotovka spasateley-pozharnykh. Pozharno-stroyevaya podgotovka* [Training of rescuers-firemen. Fire drill training]. Yekaterinburg: Kalan, 2013. 300 p.
13. Sharabanova I. YU., Shipilov R. M., Kharlamov A. V. Primeneniye novykh tekhnicheskikh sredstv obucheniya v podgotovke budushchikh pozharnykh i spasateley, rabotayushchikh v ekstremal'nykh situatsiyakh [Application of new technical training aids in the training of future firefighters and rescuers working in extreme situations]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2014, vol. 9(57), pp. 2–8.
14. Sharabanova I. Yu., Levashov N. F. Psikhofiziologicheskiye mekhanizmy sostoyaniya professional'noy gotovnosti [Psychophysiological mechanisms of the state of professional readiness]. *European social science journal*, 2013, vol. 6 (34), pp. 71–74.
15. Razrabotka tekhnicheskikh sredstv dlya obucheniya i kontrolya adaptatsionnoy mobil'nosti kursantov vuzov GPS MCHS Rossii [Development of technical means for training and control of adaptive mobility of cadets of higher educational institutions of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia] / R. M. Shipilov, S. G. Kazantsev, I. Yu. Sharabanova [et al.]. *European social science journal*, 2016, issue 1, pp. 332–335.
16. Osobennosti formirovaniya professional'nogo masterstva pozharnykh i spasateley v ramkakh sovershenstvovaniya metodiki obucheniya pod'yemu po shturmovoy lestnitse [Features of the formation of professional skills of firefighters and rescuers within the framework of improving the methodology for climbing the assault ladder] / R. M. Shipilov, I. Yu. Sharabanova, E. E. Marinich [et al.]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2017, vol. 10-1(64), pp. 57–66.
17. Razrabotka dopolnitel'nykh normativnykh zadaniy i ikh vremennykh pokazateley k rabote so shturmovoy lestnitsey [Development of additional normative tasks and their time indicators for work with an assault ladder] / R. M. Shipilov, S. G. Kazantsev, A. S. Davidenko [et al.], *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019, vol. 2(31), pp. 106–112.

References

1. Ashkinazi S. A., Shipilov R. M., Kuznetsov B. V. K voprosu o sovershenstvovani

8. Kadyrov R. M., Mikhail I. I. Normativnyye tekhnologii fizicheskoy podgotovki voyennosluzhashchikh [Normative technologies of physical training of military personnel]. *Aktual'nyye problemy fizicheskoy i spetsial'noy podgotovki silovykh struktur*, 2014, issue 3, pp. 105–114.

9. Glass Dzh., Stenli Dzh. *Statisticheskiye metody v pedagogike i psikhologii* [Statistical methods in pedagogy and psychology]. M.: Izd-vo «Progress», 1976. 495 p.

10. Kadyrov R. M. Kriterii proverki i otsenki fizicheskoy podgotovlennosti voyennosluzhashchikh [Criteria for testing and assessing the physical fitness of servicemen]. M.: MO RF, 1991. 198 p.

Шипилов Роман Михайлович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: rim-sgpu@rambler.ru,

Shipilov Roman Mikhailovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of pedagogical Sciences, associate Professor

E-mail: rim-sgpu@rambler.ru

Казанцев Семен Григорьевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель кафедры

E-mail: skorpsem@yandex.ru

Kazantsev Semen Grigorievich

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: skorpsem@yandex.ru

Захаров Дмитрий Юрьевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель

E-mail: mr.dmitriyazakharov@mail.ru

Zakharov Dmitry Yurievich

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

Russian Federation, Ivanovo

teacher

E-mail: mr.dmitriyazakharov@mail.ru

Семенов Алексей Олегович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: ao-semenov@rambler.ru,

Alexey Olegovich Semyonov

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical Sciences, associate Professor

E-mail: ao-semenov@rambler.ru

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

УДК 66.021.3

**ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА КАТИОНИТЕ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ
И ХИТОЗАНА В ИОНИТОВОМ ФИЛЬТРЕ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Д. Е. ЗАХАРОВ, С. В. НАТАРЕЕВ, Д. Г. СНЕГИРЕВ¹

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

¹ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: natoret@mail.ru

При решении задач обеспечения населения водой в условиях чрезвычайной ситуации с помощью ионообменных установок необходимо проведение операций сорбции целевого компонента, взрыхления, регенерации и отмывки ионита. Восстановление обменной емкости ионита является наиболее затратной статьей расхода в связи с высокой стоимостью регенерирующих веществ. Для снижения этих затрат необходимо установить наиболее рациональные технологические параметры перевода ионита в исходную форму. В экспериментальных исследованиях использовался композитный катионит на основе древесных опилок и хитозана. Очистку воды проводили от ионов меди, а в качестве регенерационных растворов применяли растворы гидроксида натрия и гидрокарбоната натрия. Установлено, что прямой процесс ионного обмена удовлетворительно описывается уравнением изотермы адсорбции Ленгмюра, а обратный процесс – уравнением изотермы адсорбции Генри. Показано, что обменная емкость природного катионита по ионам меди составляет $9,5 \cdot 10^{-4}$ кг-экв/кг. Применение для регенерации катионита раствора гидроксида натрия позволило восстановить обменную емкость сорбента на 70 %, а раствора гидрокарбоната натрия – на 46 %. Проведены исследования кинетики ионообменной сорбции и десорбции ионов меди на композитном катионите, в результате которых получены кинетические зависимости, установлен смешанно диффузионный механизм обмена ионов RNa^+-Cu^{2+} и определены коэффициенты внутренней диффузии. Полученные данные могут быть использованы при расчете рациональных технологических параметров сорбционно-регенерационного цикла.

Ключевые слова: ионный обмен, композитный катионит из древесных опилок и хитозана, сорбция и десорбции ионов меди.

**WASTEWATER TREATMENT USING A CATION EXCHANGE RESIN
FROM WOOD WASTE AND CHITOSAN IN AN ION EXCHANGE RESIN FILTER
IN EMERGENCY SITUATIONS**

D. E. ZAHAROV, S. V. NATAREEV, D. G. SNEGIREV¹

Federal State-Funded Educational Institution of higher Education

«Ivanovo State University of Chemistry and Technology»,

Russian Federation, Ivanovo

¹Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

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

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: natoret@mail.ru

When solving the problems of providing the population with water in an emergency situation using ion exchange plants, it is necessary to carry out operations of sorption of the target component, loosening,

regeneration and washing of ionite. Recovery of the ionite exchange capacity is the most expensive item of expenditure due to the high cost of regenerating substances. To reduce these costs, it is necessary to set the most rational technological parameters for converting ionite to its original form. In experimental studies, a composite cationite based on sawdust and chitosan was used. Water was purified from copper ions, and solutions of sodium hydroxide and sodium bicarbonate were used as regeneration solutions. It is established that the direct ion exchange process is satisfactorily described by the Langmuir adsorption isotherm equation, and the reverse process is described by the Henry adsorption isotherm equation. It is shown that the exchange capacity of natural cationite for copper ions is $9,5 \cdot 10^{-4}$ kg-eq/m³. The use of a solution of sodium hydroxide for the regeneration of cationite allowed to restore the exchange capacity of the sorbent by 70 %, and the solution of sodium bicarbonate – by 46 %. The studies of the kinetics of ion exchange sorption and desorption of copper ions on composite cation exchanger, in which the obtained kinetic dependencies set mixed diffusion mechanism of ion exchange RNa^+-Cu^{2+} and determined the coefficients of internal diffusion. The obtained data can be used for calculating rational technological parameters of the sorption-regeneration cycle.

Key words: ion exchange, composite cationite from sawdust and chitosan, sorption and desorption of copper ions.

Водоснабжение в чрезвычайных ситуациях предполагает организацию мероприятий по забору воды из природных источников, её очистку, хранение, транспортирование, выдачу воды и контроль за её качеством. Для очистки загрязненной воды используются табельные средства, состоящих на вооружении войсковых частей и специализированных формирований ГО и РСЧС. Войсковыми средствами очистки и опреснения воды являются: тканево-угольный фильтр ТУФ-200, автомобильная фильтровальная станция МАФС-3, передвижная опреснительная станция ОПС, передвижная опреснительная установка ПОУ-4 и другие установки [1]. При эксплуатации ионообменных установок для очистки воды проводятся операции сорбции целевого компонента, взрыхления, регенерации и отмывки ионита. Восстановление обменной емкости ионита является наиболее затратной статьей расхода в связи с высокой стоимостью регенерирующих веществ [2]. Для снижения этих затрат необходимо установить наиболее рациональные технологические параметры перевода ионита в исходную форму.

В настоящее время для очистки воды от ионов тяжелых металлов все больше применение находят ионообменные сорбенты из целлюлозосодержащих материалов, поскольку они экологически безопасны и могут быть утилизированы без ущерба окружающей среде либо использованы как сырьё в некоторых отраслях промышленности. Несмотря на то, что природные сорбенты являются весьма эффективными и простыми в производстве, в настоящее время недостаточно изучены процессы их регенерации с целью повторного применения.

Для исследования процесса очистки растворов от ионов тяжелых металлов исполь-

зовали композитный катионит, полученный на основе древесных сосновых опилок и хитозана [3]. Для перевода композитного древесно-хитозанового катионита (КДХК) в натриевую форму его обрабатывали раствором гидроксида натрия, а затем промывали пятью объемами дистиллированной воды с удельной нагрузкой $1,4 \cdot 10^{-3}$ м³/м³.

Исследование равновесия ионного обмена на КДХК проводили в статических условиях [4]. Для проведения опытов серию одинаковых навесок катионита в А-форме помещали в колбы и заливали их исследуемым раствором с постоянной ионной силой, но различной концентрацией замещающих ионов Б. Затем колбы закрывали пробками и встряхивали до достижения равновесия в системе катионит-раствор. После установления равновесия катионит отделяли от раствора и определяли ионный состав в обеих фазах. По найденным равновесным концентрациям ионов А и Б в растворе и катионите строили изотерму ионного обмена.

При изучении ионного обмена в системе $CuSO_4$ – КДХК (Na-форма) объем раствора составлял 100 мл, а масса каждой навески катионита – 1 г. Начальная концентрация сульфата меди изменялась в пределах от 0,01 до 0,1 кг-экв/м³. В исследованиях ионного обмена в системе NaOH – КДХК (Cu-форма) и $NaHCO_3$ – КДХК (Cu-форма) объем раствора составлял 100 мл, а масса каждой навески катионита – 3 г. Начальная концентрация регенерирующих растворов принималась в интервале от 0,005 до 0,05 кг-экв/м³.

По экспериментальным данным рассчитывали значения абсолютной и избыточной адсорбции. Значение избыточной адсорбции рассчитывается по формуле:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_p)V}{m}, \quad (1)$$

где m – масса навески сорбента, кг; C_0 и C_p – исходная и равновесная концентрации раствора, кг-экв/м³; V – объем раствора, м³.

Уравнение связи между абсолютной и избыточной адсорбцией для сорбируемых ионов определяется уравнением:

$$a = \Gamma + \tilde{C}, \quad (2)$$

где a и Γ – значения абсолютной и избыточной адсорбции, соответственно, кг-экв/кг.

Концентрация подвижных ионов в сорбенте определяется по формуле:

$$\tilde{C} = \frac{\tilde{V}C_p}{m}, \quad (3)$$

где \tilde{V} – объем раствора в набухшем адсорбенте, м³.

По экспериментальным данным строится график изотермы ионообменной адсорбции – зависимость избыточной адсорбции Γ от равновесных концентраций ионов меди в растворе C_p .

При регенерации КДХК значение избыточной адсорбции рассчитывали по формуле:

$$\Gamma = \frac{C_p V}{m}, \quad (4)$$

где C_p – равновесная концентрация ионов меди в растворе, кг-экв/м³; Γ – восстановленная избыточная адсорбция, кг-экв/кг.

При построении изотермы ионообменной десорбции по оси ординат откладываются значения восстановленной избыточной адсорбции Γ , а по оси абсцисс – равновесная концентрация регенерирующего раствора $C_{p,per}$.

При исследовании равновесия в системах CuSO_4 – КДХК (Na-форма), NaOH – КДХК (Cu-форма) и NaHCO_3 – КДХК (Cu-форма) были сняты изотермы ионного обмена, которые приведены на рис.1.

На основании экспериментальных данных равновесия ионного обмена были рассчитаны концентрации подвижных ионов в катионите и значения абсолютной адсорбции. Установлено, что при малых концентрациях раствора различия между избыточной и абсолютной адсорбцией незначительно. Например, при равновесной концентрации сульфата меди $4,4 \cdot 10^{-4}$ кг-экв/м³ разница между значениями a и Γ составляет $5 \cdot 10^{-7}$ кг-экв/м³. При достиже-

нии полной статической обменной емкости КДХК по ионам меди избыточная адсорбция составляет 96 % от абсолютной адсорбции. В случае восстановления обменной емкости природного катионита растворами гидроксида натрия и гидрокарбоната натрия отношение избыточной к абсолютной адсорбции не превышает значения 0,97. При применении для регенерации КДХК раствора гидроксида натрия обменная емкость катионита восстанавливается на 70 %, а раствора гидрокарбоната натрия – на 46 %. Данный факт следует учитывать при расчете ионообменной установки.

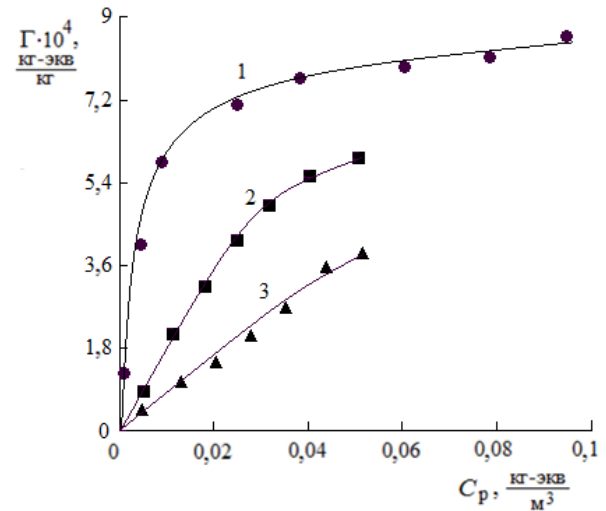


Рис.1. Изотермы ионного обмена в системе CuSO_4 – КДХК в Na-форме (1), NaOH – КДХК в Cu-форме (2) и NaHCO_3 – КДХК в Cu-форме (3)

Экспериментальная изотерма ионообменной сорбции ионов меди КДХК была обработана в рамках модели сорбции Ленгмюра:

$$\bar{C}_p = a_0 \frac{kC}{1+kC}. \quad (5)$$

При расчете аппаратов с неподвижным слоем ионита целесообразно перейти от единицы измерения значения адсорбции кг-экв/кг к единице кг-экв/м³. Линеаризация равновесных экспериментальных данных в координатах $[1/\bar{C}_p; 1/C_p]$, выполненная методом наименьших квадратов, позволила сделать вывод об удовлетворительном описании процесса моделью Ленгмюра. Коэффициент корреляции составил 0,97. Параметры, входящие в уравнение изотермы адсорбции (5), имеют следующие значения: $a_0 = 0,239$ кг-экв/м³ и $k = 240$.

Также установлено, что экспериментальные изотермы ионообменной десорбции КДХК от ионов меди удовлетворительно описываются уравнением линейной изотермы адсорбции Генри. При регенерации природного катионита раствором гидроксида натрия константа Генри E составляет 4,6, а раствором гидрокарбоната натрия – 2,1.

Изучение кинетики сорбции и регенерации на КДХК заключалось в измерении концентрации обменивающихся ионов в ионите и растворе в зависимости от времени процесса. Определение скорости ионообмена между фазами проводили в статических условиях [4]. Для проведения опытов прямого ионного обмена брали 100 мл исследуемого раствора и помещали его в термостатируемый сосуд с мешалкой. После установления теплового равновесия в раствор добавляли 1 г природного адсорбента. Через определенные промежутки времени раствор отделялся от адсорбента и анализировался. Для получения каждой точки кинетической кривой использовали новую навеску КДХК. Во всех опытах температура раствора поддерживалась 293 К, а частота вращения мешалки составляла 5 с^{-1} . Выбор режима перемешивания был установлен предварительными опытами. Он обеспечивал практическую независимость скорости процесса от числа оборотов мешалки в реакционном сосуде. Для опытов использовали растворы сульфата меди с концентрацией $0,01\text{--}0,1 \text{ кг-экв/м}^3$.

Опыты по изучению обратного процесса ионного обмена были аналогичны опытам по изучению прямого процесса и отличались тем, что навеска катионита составляла 3 г. Концентрация растворов гидроксида натрия составляла $0,05$ и $0,025 \text{ кг-экв/м}^3$.

На рис. 2 приведены кинетические кривые ионного обмена $\text{Cu}^{2+}\text{--Na}^+$ на КДХК, а на рис. 3 – для обмена $\text{Na}^+\text{--Cu}^{2+}$.

Для определения диффузионного лимитирования процесса сорбции использовали построения в координатах $-\ln(1-F_{\text{cp}}) - \tau$. Из рис. 4 видно, что зависимость $-\ln(1-F_{\text{cp}})$ от τ выражается кривой, которая при значениях τ до $F_{\text{cp}} < 0,3$ имеет прямолинейный ход. Следовательно, в начале процесса лимитирующей стадией является внешняя диффузия, а затем на скорость ионного обмена все большее влияние оказывает диффузия в фазе сорбента. На основании экспериментальных кинетических кривых определены коэффициенты внутренней диффузии в зависимости от степени завершенности процесса по методике, основанной на применении решения задачи о смешанно диффузионной кинетике для тела форме неограниченного цилиндра [4]. Найденные зависимости \bar{D} от F_{cp} приведены на рис. 5. Из

данного рисунка видно, что коэффициенты диффузии на КДХК не постоянны и имеют минимальное значение в начальные моменты сорбции. Дальнейшее протекание процесса сопровождается ростом коэффициента диффузии. Подобная закономерность связана с известным фактом [4], что коэффициент диффузии определяется скоростью того иона, который находится в микроконцентрации в сорбенте. При ионном обмене $\text{Cu}^{2+}\text{--Na}^+$ на КДХК коэффициент взаимодиффузии изменяется от коэффициента диффузии ионов меди в натриевой форме катионита до коэффициента диффузии ионов натрия в медной форме данного катионита.

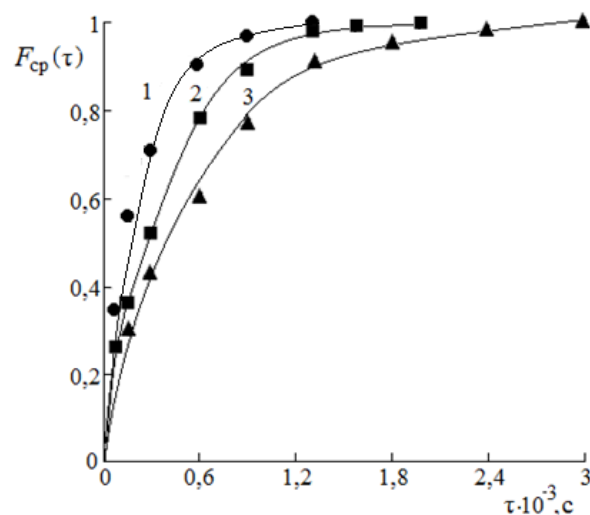


Рис. 2. Кинетические кривые ионного обмена $\text{Cu}^{2+}\text{--Na}^+$ на КДХК:
 C_0 , кг-экв/м³: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,01

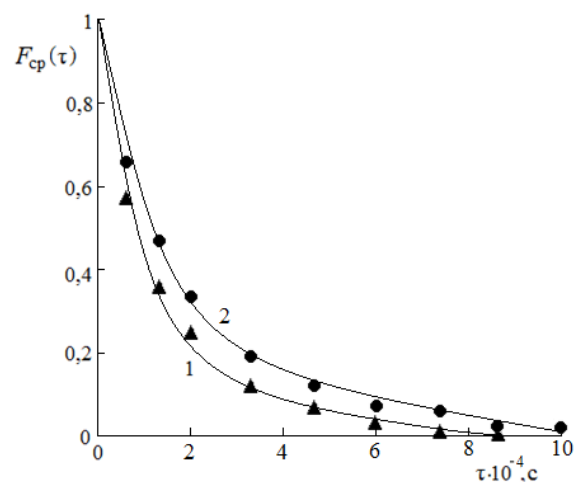


Рис. 3. Кинетические кривые ионного обмена $\text{Na}^+\text{--Cu}^{2+}$ на КДХК:
 C_0 , кг-экв/м³: 1 – 0,05; 2 – 0,025

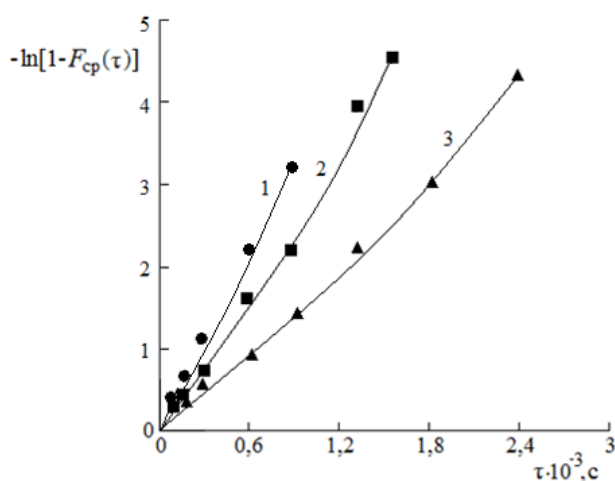


Рис. 4. Зависимости $-\ln(1-F_{cp})$ от τ для КДХК: C_0 , кг-экв/м³: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,01

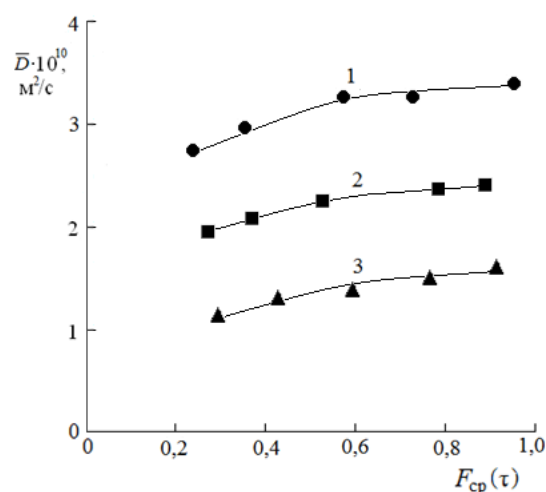


Рис. 5. Зависимости изменения коэффициента внутренней диффузии от степени завершенности процесса на КДХК: C_0 , кг-экв/м³: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,01

При обработке экспериментальных данных по ионообменной десорбции ионов Cu^{2+} на КДХК (рис. 3) были определены средние значения коэффициентов внутренней диффузии, которые составили для 0,05 н раствора гидроксида натрия $8 \cdot 10^{-12}$ м²/с, для 0,025 н раствора – $5,4 \cdot 10^{-12}$ м²/с.

На основании экспериментальных исследований ионообменной сорбции и десорбции ионов меди на композитном катионите из древесных опилок и хитозана можно сделать вывод о том, что полученный ионит может быть успешно применен в ионообменных установках для очистки воды от ионов тяжелых металлов.

Список литературы

1. 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.
2. Волжинский А. И. Константинов В. А. Регенерация ионитов. Теория процесса и расчет аппаратов. Л.: Химия, 1990. 240 с.
3. Патент № 2657506 Российская Федерация. Способ извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов / С. В. Натарева, В. А. Козлов, Т. Е. Никифорова, А. А. Быков, Д. Е. Захаров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.-тех. ун-т.; опублик. 24.06.18. Бюл. № 17.
4. Кокотов Ю. А., Золотарев П. П., Елкин Г. Э. Теоретические основы ионного обмена: сложные ионообменные системы. Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1986. 281 с.

References

1. *Grazhdanskaya zashhita*: v 4 t. T.1 [Civil protection: in 4 vol. Vol. 1]. Puchkov V. A. (ed.). Moscow: FGBU VNII GOChS (FCz), 2015. 666 p.
2. Volzhinsky A. I., Konstantinov V. A. *Regeneratsiya ionitov. Teoriya protsesssa i raschet apparatov* [Regeneration of ion exchangers. Theory of the process and calculation of apparatuses]. L.: Himiya, 1990, 240 p.
3. Pat. № 2657506 Russian Federation. *Sposob izvlecheniya ionov tyazhelykh metallov iz vodnykh rastvorov* [Method of extracting heavy metal ions from aqueous solutions] / S. V. Natareev, V. A. Kozlov, T. E. Nikiforova, A. A. Bykov, D. E. Zakharov; Proprietor FGBOU-VO "Ivanovskij gosudarstvennyj khimiko-tekhnologicheskij universitet"; date of publication 14.06.2018. Bull. № 17.
4. Kokotov Yu. A., Zolotarev P. P., Elkin G. E. *Teoreticheskiye osnovy ionnogo obmena: slozhnyye ionoobmennyye sistemy* [Theoretical foundations of ion exchange: complex ion exchange systems]. Leningrad Himiya, Leningradskoe otdelenie, 1986. 281 p.

Захаров Дмитрий Евгеньевич

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

E-mail: dimazah16@ya.ru

Zakharov Dmitriy Evgenyevich

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»,

Russian Federation, Ivanovo

graduate student

E-mail: dimazah16@ya.ru

Натареев Сергей Валентинович

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

доктор технических наук, профессор

E-mail: natoret@mail.ru

Natareev Sergey Valentinovich

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»,

Russian Federation, Ivanovo

doctor of engineering sciences, professor

E-mail: natoret@mail.ru

Снегирев Дмитрий Геннадьевич

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

Доцент, кандидат технических наук, доцент

E-mail: snegirev.1965@bk.ru

Snegirev Dmitriy Gennadevich

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

docent, candidate of technical sciences, docent

E-mail: snegirev.1965@bk.ru

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

УДК 666.972.16:66.018.8

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ**

К. Б. СТРОКИН¹, Д. Г. НОВИКОВ¹, В. С. КОНОВАЛОВА², С. А. ЛОГИНОВА², Б. Е. НАРМАНИЯ²

¹ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

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

E-mail: strokin07@rambler.ru, denis.g.novikov@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru,
sl79066171227@yandex.ru, borisfablee@gmail.com

В работе приведены данные о процессах, протекающих при микробиологической коррозии бетонов. Исследована кинетика коррозии в водной среде цементного бетона, зараженного микроорганизмами *Bacillus subtilis* и *Aspergillus niger*. Установлены равновесные концентрации катионов кальция при грибковой и бактериальной коррозии цементного бетона в водной среде. Приведены профили концентраций гидроксида кальция по толщине цементного бетона при грибковой и бактериальной коррозии. Установлено, что при грибковой коррозии бетона интенсивность взаимодействия гидроксида кальция с продуктами жизнедеятельности микроорганизмов выше, чем при бактериальной коррозии. Методом газожидкостной хроматографии установлено, что продукты коррозии цементных образцов, зараженных *Bacillus subtilis*, состоят в основном из карбоната кальция, а в результате воздействия *Aspergillus niger* в поровую структуру бетона проникает смесь органических кислот: лимонной, щавелевой, молочной, яблочной, винной. При грибковой коррозии большее воздействие на бетон оказывает лимонная кислота, поскольку ее количество в продуктах жизнедеятельности микроорганизмов 57,5 масс. %. Построением профилей концентраций агрессивных веществ по толщине бетонного образца показано, что бактериальная коррозия протекает медленнее, чем грибковая. Рассчитаны сроки достижения предельной концентрации агрессивных веществ у поверхности стальной арматуры в бетоне. Коррозия арматуры в бетоне при грибковой коррозии начнется через 2,5 года воздействия, при бактериальной – через 5,5 лет.

Ключевые слова: жидкостная коррозия, коррозия бетона, микробиологическая коррозия, грибковая коррозия, бактериальная коррозия, долговечность железобетона.

**DETERMINATION OF SAFE SERVICE LIFE OF STRUCTURES MADE
OF REINFORCED CONCRETE AT MICROBIALLY INDUCED CORROSION**

K. B. STROKIN¹, D. G. NOVIKOV¹, V. S. KONOVALOVA², S. A. LOGINOVA², B. E. NARMANIYA²

¹Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

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

E-mail: strokin07@rambler.ru denis.g.novikov@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru,
sl79066171227@yandex.ru, borisfablee@gmail.com

The paper presents data on the processes occurring during microbiological corrosion of concrete. The kinetics of corrosion of cement concrete in the water environment infected with *Bacillus subtilis* and *Aspergillus niger* microorganisms was studied. Equilibrium concentrations of calcium cations during fungal and bacterial corrosion of cement concrete in the water environment were established. Profiles of calcium hydroxide concentrations over the thickness of cement concrete under fungal and bacterial corrosion are given.

It was found that the intensity of interaction of calcium hydroxide with the products of microorganisms' vital activity is higher in the case of fungal corrosion of concrete than in the case of bacterial corrosion. Using gas-liquid chromatography it was found that the corrosion products of cement samples infected with *Bacillus subtilis* consist mainly of calcium carbonate, and as a result of exposure to *Aspergillus niger*, a mixture of organic acids penetrates the pore structure of concrete: citric, oxalic, lactic, malic, and tartaric. In case of fungal corrosion, citric acid has a greater effect on concrete since its amount in the products of microbial activity is 57,5 wt.%. By constructing profiles of concentrations of aggressive substances along the thickness of a concrete sample, it is shown that bacterial corrosion proceeds more slowly than fungal corrosion. The time frame for reaching the maximum concentration of aggressive substances at the surface of steel reinforcement in concrete is calculated. Reinforcement corrosion in concrete with fungal corrosion will begin after 2,5 years of exposure, with bacterial corrosion it will begin after 5,5 years.

Key words: liquid corrosion, concrete corrosion, microbially induced corrosion, fungal corrosion, bacterial corrosion, durability of reinforced concrete.

Введение

Скорость проявления повреждений бетона в конструкциях зависит от типа агрессивной среды, действующей на данный бетон. Агрессивные вещества из окружающей среды поступают к компонентам бетона и вступают с ними в реакцию.

Микроорганизмы растут преимущественно прикрепленными к поверхностям твердых материалов. Локализованные биопленки (микробиоценозы) могут оказывать серьезное вредное воздействие на материалы [1].

На рост микроорганизмов влияют и иногда ограничивают его несколько химических и физических факторов. Вода является необходимым условием для жизни и роста микроорганизмов. Микроорганизмы значительно различаются по количеству необходимой воды. В частности, грибы способны жить в чрезвычайно сухих условиях. Лишайники, из-за симбиоза фотосинтетического партнера (водоросли или цианобактерии) с грибами, могут напоминать грибы в их потребности в воде. Все остальные микроорганизмы очень чувствительны к нехватке воды. В пористых системах, таких как почва или бетон, активность воды снижается из-за капиллярных связей в порах малого диаметра (менее 10 мкм).

Другим важным фактором является концентрация ионов водорода. Микроорганизмы можно отличить по их способности расти в кислых, нейтральных или щелочных условиях. Поэтому их называют ацидофилами, нейтрофилами или алкалофилами. Бактерия *A. thiooxidans* была обнаружена в образцах с отрицательным значением pH, тогда как в содовых озерах жизнь была обнаружена при значениях pH от 12 и выше. Грибы способны расти в большом диапазоне значений pH. Плесневелые грибы были обнаружены при значениях pH от 2 и до 12. Большинство микроорганизмов, однако, развивается в нейтральном диапазоне pH от 6 до 8 [2, 3].

Специализированные бактерии способны производить и выделять сильные минеральные кислоты. Обычно в аэробных условиях тиобациллы окисляют неорганические соединения серы и серу до серной кислоты. Кроме серы и сернистых соединений, бактерии нуждаются только в углекислом газе. Род *Thiobacillus* состоит из нескольких видов, которые способны расти при умеренно щелочных и сильно кислых значениях pH. Виды, способные расти и размножаться на щелочных материалах, являются первопроходцами для видов, растущих только в кислых условиях. После того, как буферное вещество, например, известь в бетоне, исчерпано, значение pH в поверхностных водах снижается, и ацидофильные виды начинают размножаться. Это в итоге вызывает сильную биогенную сернокислотную коррозию [4–8].

Вторая группа, которую следует упомянуть – это нитрифицирующие бактерии, выделяющие азотную кислоту. Как и серная кислота, азотная кислота может вступать в реакцию со щелочными веществами, образуя высоко-растворимые соли (в отличие от сульфатов, которые гораздо менее растворимы) [5, 9–11].

Третья важная кислота вырабатывается всеми формами жизни. Углекислый газ выделяется как конечный продукт метаболизма. Он реагирует с водой с образованием углекислоты, которая может растворяться, например, в карбонатах, образуя растворимые бикарбонаты. Таким образом, вяжущее вещество бетона, известь, может быть растворено.

Четвертая группа микроорганизмов состоит из тех, которые в процессе своего метаболизма выделяют органические кислоты, такие как щавелевая, лимонная, яблочная, молочная или уксусная кислоты, аминокислоты, уроновые кислоты и др. [12, 13]. Органические кислоты обычно доступны только временно. Тем не менее, их присутствие могло вызвать превращения в кристаллической решетке под-

вергаемого воздействию материала. Органические кислоты могут выделяться почти всеми бактериями, цианобактериями, водорослями, лишайниками и грибами.

Важным соединением для микробиологической коррозии является сероводород. Он образуется в анаэробных условиях под действием сульфатвосстанавливающих бактерий из сульфата, сульфита, а иногда и серы [14].

Упомянутые биогенные реакции приводят к образованию и, как правило, накоплению (за исключением водной среды) солей в качестве продуктов реакции. Поскольку соли гидрофильны, они обычно гидратируются, что приводит к увеличению содержания воды в пористом материале. Кроме того, при высыхании могут образовываться кристаллы соли, вызывающие поверхностное удаление слоев материала. Еще одно пагубное действие солей связано с образованием крупных кристаллов, вызывающих разбухание [15, 16]. Известный пример – образование этtringита из кристаллов гипса, разрушающих бетон и кирпич.

Микробиологическая коррозия – явление повсеместное, но участие микроорганизмов и их значение до конца не осознаются. Физико-химические превращения, протекающие в бетоне под воздействием микроорганизмов, очень сложны, их можно видоизменять и замедлять, но полностью подавить их невозможно [17]. Глубокое знание всех участвующих процессов позволит значительно увеличить срок службы материалов.

Материалы и методы

Исследование коррозионной стойкости проводилось на образцах бетона, изготовленного из портландцемента марки ПЦ 500-Д0 с В/Ц = 0,3. Образцы имели форму кубов размером 3х3х3 см, исследуемая система составлялась из плотно подогнанных друг к другу пластин размером 1х3х3 см. Испытания проводились после набора образцами прочности в течение 28 суток на воздухе с относительной влажностью 65–70 % при температуре 20±2 °С.

Образцы помещались в сосуды с водной средой объемом 1000 см³, откуда с периодичностью 14 суток отбирались пробы для анализа объемом 10 см³. В качестве реакционной среды при изучении процесса микробиологической коррозии использовалась дистиллированная вода (рН = 6,6). Образцы заражали суспензиями микроорганизмов *Aspergillus niger* van Tieghem для изучения грибковой коррозии бетона и *Bacillus subtilis* для изучения бактериальной коррозии бетона. Определение содержания катионов кальция в анализе определялось методом комплексометрического объемного титрования трило-

ном Б в присутствии индикатора хромогена черного.

Определение содержания кальция в образце проводилось по дериватограммам, полученным при анализе измельченных образцов цементного камня на дериватографе Q 1500-D.

Определение состава продуктов коррозии после воздействия на бетон грибов *Aspergillus niger* van Tieghem и бактерий *Bacillus subtilis* проводилось на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.

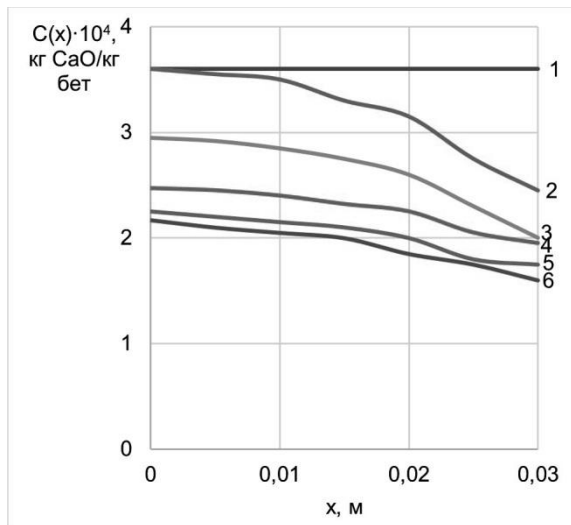
Результаты и обсуждение

В ходе проведения опыта установлено, что состояние близкое к равновесной концентрации катионов кальция в растворах с образцами, зараженными *Bacillus subtilis* и *Aspergillus niger* достигается после 80 суток пребывания образца в коррозионной среде, тогда как для незараженных образцов состояние равновесия наступает после 70 суток [18]. Однако равновесное значение концентрации ионов Ca²⁺ в растворах сильно отличается. В водной среде с незараженными бетонными образцами изменение концентрации ионов Ca²⁺ остановилось при достижении значения 22 мг/л, для образцов, зараженных *Bacillus subtilis*, это значение составило 28 мг/л, а для образцов, зараженных *Aspergillus niger*, – 33 мг/л, что в 1,5 раза больше по сравнению с незараженным бетоном.

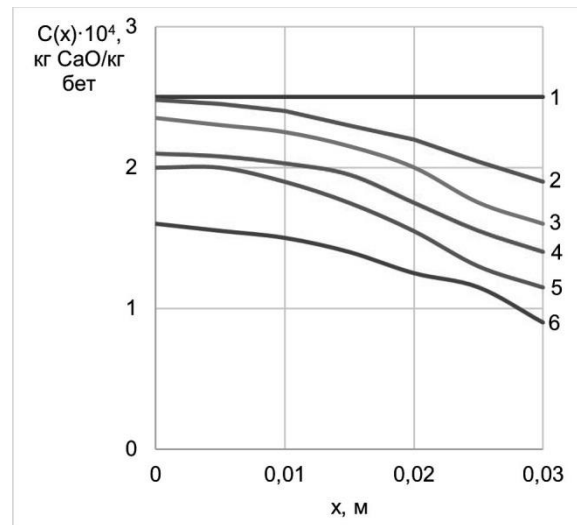
Результатом анализа экспериментальных данных стало получение значений концентраций «свободного» гидроксида кальция по толщине бетонного образца в разные моменты времени. На основании численных значений, полученных методом дифференциально-термического анализа, построены профили концентраций (рис. 1) для образцов цементного камня, подвергавшихся воздействию водной среды и микроорганизмов.

При грибковой коррозии бетона интенсивность потока массы вещества выше, чем при бактериальной коррозии. Агрессивность микромицетов в отношении цементных бетонов выше, чем у бактерий.

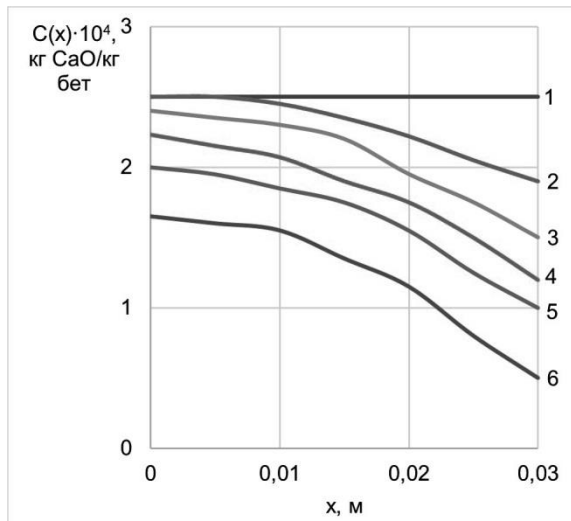
Методом газожидкостной хроматографии изучены продукты коррозии с поверхности цементных образцов, зараженных *Bacillus subtilis* и *Aspergillus niger*. В результате жизнедеятельности грибковых микроорганизмов на поверхности бетона накапливаются органические кислоты: лимонная (57,5 масс. %), щавелевая (27 масс. %), молочная (8 масс. %), яблочная (6 масс. %), винная (1,5 масс. %).



а



б



в

Рис. 1. Профили концентраций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по толщине образца цементного камня в разные промежутки времени (при t : 1 – 0 сут.; 2 – 14 сут.; 3 – 28 сут.; 4 – 42 сут.; 5 – 56 сут.; 6 – 70 сут.):
а) при коррозии в воде;
б) при бактериальной коррозии;
в) при грибковой коррозии

Агрессивность органических кислот для бетона определяется по растворимости их кальциевых солей согласно СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85». Наиболее растворим лактат кальция (54 г/л), поэтому молочная кислота является сильноагрессивной. Также сильноагрессивной для бетона является яблочная кислота, поскольку растворимость малата кальция составляет 2,83 г/л. Если кальциевые соли имеют растворимость 0,002-2 г/л, то органические кислоты являются среднеагрессивными: лимонная кислота (растворимость цитрата кальция 0,95 г/л), винная кислота (растворимость тартрата кальция 0,045 г/л), щавелевая кислота (растворимость оксалата кальция 0,006 г/л).

Следует полагать, что поскольку содержание сильноагрессивных органических

кислот в продуктах жизнедеятельности грибов *Aspergillus niger* невелико, материальных эффектов от коррозии бетона обусловлен вымыванием кальция под воздействием лимонной кислоты.

После воздействия бактерий *Bacillus subtilis* в поверхностном слое бетона обнаружен карбонат кальция, который образуется в результате воздействия на бетон угольной кислоты, являющейся продуктом жизнедеятельности бактерий вследствие переработки углекислого газа. Также были обнаружены в малом количестве следы пектолических ферментов.

Накапливающиеся в продуктах жизнедеятельности микроорганизмов кислоты проникают вглубь поровой структуры бетона и постепенно проникают к поверхности стальной арматуры. Щавелевая, лимонная и молочная

кислоты вызывают коррозию сталей только при больших концентрациях. Органические кислоты вызывают питтинговую коррозию стали, что приводит к локальному растворению поверхности металла и точечному истончению арматурного прутка [19]. В случае поступления угольной кислоты в поровую жидкость бетона в ней появляются гидроксид-, карбонат- и гидрокарбонат-ионы. Взаимодействие их с ионами железа, образующимися при растворении стали, сопровождается образованием плохо растворимых гидроксида и карбоната железа и хорошо растворимого гидрокарбоната железа. Последний преимущественно появляется на участках поверхности, омываемых средой с избытком диоксида углерода (угольной кислоты). С повышением значения pH среды вероятность образования плохо растворимых продуктов коррозии возрастает. Коррозия поверхности стали при этом носит язвенный характер. Коррозия стали при совместном присутствии угольной кислоты и кислорода в жидкости протекает практически без замедления вследствие неустойчивости образующихся оксидных пленок [20].

По полученным профилям концентраций ионов кальция произведен расчет профилей концентрации лимонной кислоты (рис. 2) и карбонат-ионов (рис. 3) по толщине бетонных образцов в случае грибковой и бактериальной коррозии.

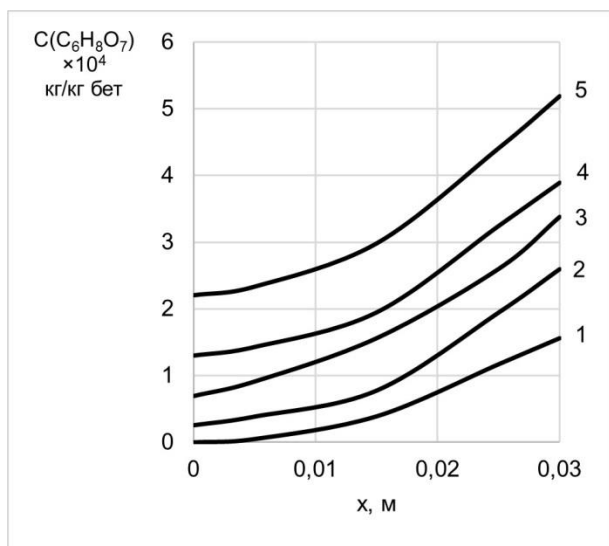


Рис. 2. Профили концентраций лимонной кислоты $C_6H_8O_7$ по толщине образцов цементного камня при грибковой коррозии (*Aspergillus niger*) при t : 1 – 14 сут.; 2 – 28 сут.; 3 – 42 сут.; 4 – 56 сут.; 5 – 70 сут.

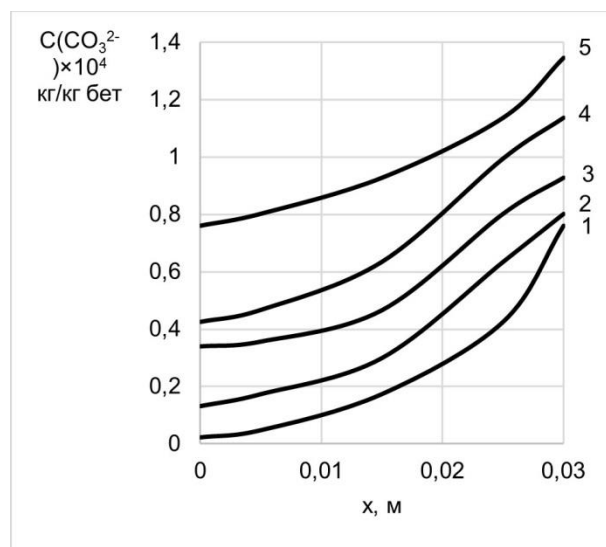


Рис. 3. Профили концентраций карбонат-ионов по толщине образцов цементного камня при бактериальной коррозии (*Bacillus subtilis*) при t : 1 – 14 сут.; 2 – 28 сут.; 3 – 42 сут.; 4 – 56 сут.; 5 – 70 сут.

Очевидно, что бактериальная коррозия протекает медленнее, чем грибковая. Это объясняется тем, что при уголекислотной коррозии в порах бетона образуется нерастворимый карбонат кальция $CaCO_3$. Эта соль накапливается и закупоривает поры, тем самым препятствуя дальнейшему проникновению агрессивной среды вглубь бетона.

Профили концентраций позволяют оценить плотность потока переносимых компонентов по толщине бетона и произвести расчет периодов начала коррозионных разрушений в железобетоне.

Для бетона и стальной арматуры является агрессивной концентрация лимонной кислоты свыше $0,05$ г/л [19]. Такое значение концентрации лимонной кислоты у поверхности арматуры происходит через 964 дня (2,5 года) после заражения поверхности бетона черной плесенью *Aspergillus niger*. После этого начинается питтинговая коррозия в местах разрушения пассивной пленки на стали.

Агрессивной по отношению к стальной арматуре является концентрация растворенного уголекислого газа в поровой жидкости бетона свыше 2000 мг/м³ [20]. Для достижения такой концентрации у поверхности стальной арматуры в бетоне при бактериальной коррозии под воздействием *Bacillus subtilis* понадобится 2057 дней (5,5 лет). После этого на поверхности стали начнутся локальные коррозионные процессы вследствие снижения pH бетона у

поверхности арматуры ниже 9 и прекращения пассивирующего действия щелочей бетона.

Заключение

Ресурс безопасной эксплуатации конструкций из бетона, подверженного воздействию микроорганизмов, в жидкой среде напрямую зависит от скорости происходящих массообменных процессов в системе.

Механизм коррозии бетона под воздействием микроорганизмов объединяет в себе I и II виды коррозии (по Москвину), поскольку на начальном этапе происходит выщелачивание

кальция под воздействием воды, затем в связи с размножением микроорганизмов на поверхности бетона и накоплением продуктов их жизнедеятельности протекает кислотная коррозия, а образование в порах бетона карбоната кальция приводит к закупориванию пор и увеличению внутреннего напряжения.

Необратимые процессы коррозионного разрушения в железобетоне в условиях грибковой коррозии начнутся через 2,5 года, в условиях бактериальной коррозии – через 5,5 лет.

Список литературы

- Hill E. C., Shennan J. L. and Watkinson R. J. Microbial Problems in the Offshore Oil Industry. Institute of Petroleum, John Wiley, Chichester, Great Britain, 1987. 274 p.
- Horn H. and Lackner S. Modeling of Biofilm Systems: A Review. Productive Biofilms. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. Springer, Cham, 2014, vol. 146, pp. 53–76. https://doi.org/10.1007/10_2014_275
- Van Loosdrecht M., Heijnen J., Eberl H., Kreft J. and Picioreanu C. Mathematical modelling of biofilm structures. Antonie Van Leeuwenhoek, 2002, vol. 81, pp. 245–256. <https://doi.org/10.1023/A:1020527020464>
- Asaulenko L. G., Purish L. M. and Abdulina D. R. Use of the Transmission Electron Microscopy for Examination of Biofilms Structure. Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties, 2013, vol. 2, no. 1, p. 01PCSI10.
- Bock E. and Sand W. The microbiology of masonry biodeterioration. Journal of Applied Bacteriology, 1993, vol. 74, pp. 503–514.
- Milde K., Sand W., Wolff W. and Bock E. Thiobacilli of the corroded concrete walls of the Hamburg sewer system. Journal of General Microbiology, 1983, vol. 129, pp. 1327–1333. <https://doi.org/10.1099/00221287-129-5-1327>
- Bjegovic D., Serdar M. and Cigrovski I. Review of microbial corrosion of concrete. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2010, vol. 38, no. 9, pp. 1741–1745.
- Sand W. Importance of hydrogen sulfide, thio-sulfate, and methylmercaptan for growth of thiobacilli during simulation of concrete corrosion. Applied and Environmental Microbiology, 1987, vol. 53, pp. 1645–1648.
- Diercks M., Sand W. and Bock E. Microbial corrosion of concrete. Experientia, 1991, vol. 47, pp. 514–516. <https://doi.org/10.1007/BF01949869>
- Чижик К. И., Белоокая Н. В. Модель микробиологической коррозии бетона в системах канализации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 2. С. 75–83.
- Mansch R. and Bock E. Microbial deterioration of materials—Simulation, case histories and countermeasures: Testing of the resistance of ceramic materials. Materials and corrosion, 1994, vol. 45, issue 2, pp. 96–104. <https://doi.org/10.1002/maco.19940450206>
- Marcus P. Corrosion mechanisms in theory and practice. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. 929 p.
- Fomina M., Burford E., and Gadd G. Fungal dissolution and transformation of minerals: Significance for nutrient and metal mobility. Fungi in Biogeochemical Cycles. British Mycological Society Symposia. Cambridge: Cambridge University Press, 2006, pp. 236–266. doi:10.1017/CBO9780511550522.011
- Rajagopal B. S. and LeGall J. Utilization of cathodic hydrogen by hydrogen-oxidizing bacteria. Applied Microbiology and Biotechnology, 1989, vol. 31, pp. 406–412. <https://doi.org/10.1007/BF00257613>
- Биологическая и климатическая стойкость цементных композитов / В. Т. Ерофеев, А. И. Родин, А. В. Дергунова [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 3. С. 119–126.
- Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov [et al.]. Materials Science Forum, 2016, vol. 871, pp. 22–27. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.871.22>
- Wanner O. Modelling of biofilms. Biofouling, 1996, vol. 10, issues 1–3, pp. 31–41. <https://doi.org/10.1080/08927019609386269>
- Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Известия вузов.

Технология текстильной промышленности. 2017. № 6 (372). С. 268–276.

19. Светлов Д. А., Качалов А. Н. Микробиологическая коррозия строительных материалов // Транспортные сооружения: Интернет-журнал. 2019. № 4. <https://doi.org/10.15862/19SATS419>

20. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры [и др.]. М.: Стройиздат, 1990. 313 с.

References

1. Hill E. C., Shennan J. L. and Watkinson R. J. *Microbial Problems in the Offshore Oil Industry*. Institute of Petroleum, John Wiley, Chichester, Great Britain, 1987. 274 p.

2. Horn H. and Lackner S. Modeling of Biofilm Systems: A Review. *Productive Biofilms. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Springer, Cham, 2014, vol. 146, pp. 53–76. https://doi.org/10.1007/10_2014_275

3. Van Loosdrecht M., Heijnen J., Eberl H., Kreft J. and Picioreanu C. Mathematical modelling of biofilm structures. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002, vol. 81, pp. 245–256. <https://doi.org/10.1023/A:1020527020464>

4. Asaulenko L. G., Purish L. M. and Abdulina D. R. Use of the Transmission Electron Microscopy for Examination of Biofilms Structure. *Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties*, 2013, vol. 2, no. 1, p. 01PCSI10.

5. Bock E. and Sand W. The microbiology of masonry biodeterioration. *Journal of Applied Bacteriology*, 1993, vol. 74, pp. 503–514.

6. Milde K., Sand W., Wolff W. and Bock E. Thiobacilli of the corroded concrete walls of the Hamburg sewer system. *Journal of General Microbiology*, 1983, vol. 129, pp. 1327–1333. <https://doi.org/10.1099/00221287-129-5-1327>

7. Bjegovic D., Serdar M. and Cigrovski I. Review of microbial corrosion of concrete. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2010, vol. 38, no. 9, pp. 1741–1745.

8. Sand W. Importance of hydrogen sulfide, thio-sulfate, and methylmercaptan for growth of thiobacilli during simulation of concrete corrosion. *Applied and Environmental Microbiology*, 1987, vol. 53, pp. 1645–1648.

9. Diercks M., Sand W. and Bock E. Microbial corrosion of concrete. *Experientia*, 1991, vol. 47, pp. 514–516. <https://doi.org/10.1007/BF01949869>

10. Chizhik K. I., Belookaya N. V. Model' mikrobiologicheskoy korrozii betona v sistemah kanalizatsii [Model of microbiological corrosion of

concrete in the systems of canalization]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate], 2017, vol. 7, no. 2, pp. 75–83. (In Russ.)

11. Mansch R. and Bock E. Microbial deterioration of materials—Simulation, case histories and countermeasures: Testing of the resistance of ceramic materials. *Materials and corrosion*, 1994, vol. 45, issue 2, pp. 96–104. <https://doi.org/10.1002/maco.19940450206>

12. Marcus P. *Corrosion mechanisms in theory and practice*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. 929 p.

13. Fomina M., Burford E., and Gadd G. Fungal dissolution and transformation of minerals: Significance for nutrient and metal mobility. *Fungi in Biogeochemical Cycles. British Mycological Society Symposia*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006, pp. 236–266. [doi:10.1017/CBO9780511550522.011](https://doi.org/10.1017/CBO9780511550522.011)

14. Rajagopal B. S. and LeGall J. Utilization of cathodic hydrogen by hydrogen-oxidizing bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1989, vol. 31, pp. 406–412. <https://doi.org/10.1007/BF00257613>

15. Biologicheskaya i klimaticheskaya stojkost' cementnyh kompozitov [Biological and climatic durability of cement composites] / V. T. Yerofeyev, A. I. Rodin, A. V. Dergunova [et al.] *Academia. Architecture and construction*, 2016, no. 3, pp. 119–126.

16. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov [et al.]. *Materials Science Forum*, 2016, vol. 871, pp. 22–27. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.871.22>

17. Wanner O. Modelling of biofilms. *Biofouling*, 1996, vol. 10, issues 1–3, pp. 31–41. <https://doi.org/10.1080/08927019609386269>

18. Opređenje Resursa Bezopasnoj Ehkspluatatsii Konstrukcij iz Betona, Soderzhashchego Gidrofobiziruyushchie Dobavki [Determination of Safe Service Life of Structures Made of Concrete Containing Hydrophobic Additives] / S. V. Fedosov, V. Ye. Rummyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2017, no. 6 (372), pp. 268–276. (In Russ.)

19. Svetlov D. A., Kachalov A. N. Microbiological corrosion of building materials. *Russian journal of transport engineering*, 2019, no. 4 (6). (in Russ.). DOI: 10.15862/19SATS419

20. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnyh sredah [Durability of reinforced concrete in aggressive environments] / S. N. Alekseyev, F. M. Ivanov, S. Modry [et al.]. М.: Stroyizdat, 1990. 313 p.

Строкин Константин Борисович

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры строительства, директор Технического нефтегазового института

E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

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

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

doctor of Economic sciences, docentr, professor of the department of construction, director of the Technical oil and gas institute

E-mail: strokin07@rambler.ru

Новиков Денис Геннадьевич

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

сотрудник научно-исследовательской лаборатории

E-mail: denis.g.novikov@gmail.com

Novikov Denis Gennadievich

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

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

research laboratory employee

E-mail: denis.g.novikov@gmail.com

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

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

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Логинова Светлана Андреевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель

E-mail: sl79066171227@yandex.ru

Loginova Svetlana Andreevna

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

Russian Federation, Ivanovo

senior lecturer

E-mail: sl79066171227@yandex.ru

Нармания Борис Евгеньевич

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

обучающийся по программе магистратуры

E-mail: borisfablee@gmail.com

Narmaniya Boris Evgenievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

master student

E-mail: borisfablee@gmail.com

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

УДК 537.525

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ УТИЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ
ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ГАЗОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ**

А. М. ЕФРЕМОВ^{1,2}, О. В. ХОНГОРОВА², Д. Г. СНЕГИРЕВ²

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

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

E-mail: amefremov@mail.ru, ov.khongorova08@yandex.ru, snegirev.1965@bk.ru

Проведено исследование кинетики и механизмов физико-химических процессов, определяющих стационарный состав газовой фазы в неравновесной низкотемпературной плазме тетра- и трифторметана. Показано, что данные системы существенно различаются по качественному и количественному составу продуктов разложения исходных молекул. Установлено, что доминирующим компонентом плазмы трифторметана являются молекулы HF, образующиеся в газофазных процессах $\text{CHF}_x + \text{H} = \text{CHF}_{x-1} + \text{HF}$, $\text{CHF}_x + \text{F} = \text{CF}_x + \text{HF}$ и $\text{CF}_x + \text{H} = \text{CF}_{x-1} + \text{HF}$. Другими важными особенностями этого газа являются а) низкая концентрация атомов фтора; и б) высокая полимеризационная нагрузка плазмы на контактирующие с ней поверхности. Последний эффект обусловлен высокими концентрациями ненасыщенных фторуглеродных частиц. Определены основные направления повышения эффективности использования и обезвреживания (конверсии) данных газов.

Ключевые слова: плазма, трифторметан, тетрафторметан, диссоциация, скорость реакции, концентрация, полимеризация.

**DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC FOUNDATIONS FOR THE DISPOSAL
OF ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS FLUOROCARBON GASES
IN LOW-TEMPERATURE PLASMA**

A. M. EFREMOV^{1,2}, O. V. KHONGOROVA², D. G. SNEGIREV²

¹Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State University of Chemistry and Technology»,
Russian Federation, Ivanovo

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

E-mail: amefremov@mail.ru, ov.khongorova08@yandex.ru, snegirev.1965@bk.ru

The investigation of kinetics and mechanisms in respect to physical and chemical process that determine the steady-state gas phase composition under the condition of non-equilibrium low temperature plasma in tri- and tetrafluoromethane. It was shown that given gas systems exhibit sufficient qualitative and quantitative differences in compositions of dissociation products from parent molecules. It was found that dominant species in the trifluoromethane plasma are HF molecules, which appear through several gas-phase-related mechanisms, such as $\text{CHF}_x + \text{H} = \text{CHF}_{x-1} + \text{HF}$, $\text{CHF}_x + \text{F} = \text{CF}_x + \text{HF}$ and $\text{CF}_x + \text{H} = \text{CF}_{x-1} + \text{HF}$. Other important features of the trifluoromethane plasma are a) the low density of fluorine atoms; and b) the high polymerizing impact on surfaces contacting with plasma. The last effect is due to the high density of non-saturated fluorocarbon species. The main factors determining the efficiency of both target use and utilization (conversion) for given gases were suggested.

Key words: plasma, trifluoromethane, tetrafluoromethane, dissociation, reaction rate, concentration, polymerization.

Введение

Плазма фторуглеродных газов семейства $C_xH_yF_z$ (иначе – фреонов) нашла широкое применение в различных областях техники и технологии, в частности - в технологии микро- и нанoeлектроники [1–3]. Основными направлениями использования фторуглеродной плазмы в последнем случае являются процессы структурирования кремниевых пластин и функциональных слоев различной природы (металлов, диэлектриков), результатом которых является формирование на обрабатываемой поверхности заданного рельефа нанометрового диапазона. Такие процессы составляют основу технологии микросхем памяти, микропроцессоров, различных сенсоров, микромеханических устройств и т.д.

С химической точки зрения, процессы структурирования поверхности относятся к группе процессов плазмохимического травления, в результате которых происходит газификация атомов поверхности под действием химически активных частиц плазмы. В плазме фторуглеродных газов такими частицами являются атомы фтора, образующиеся при диссоциации электронным ударом и последующих превращениях молекул плазмообразующего газа [3, 4]. В настоящее время, оптимизация режимов плазмохимического травления (тип используемого газа, давление и скорость его потока через реактор, электрическая мощность) основывается, в основном, на технологических критериях, таких как улучшение функциональных характеристик приборов и увеличение выхода годных изделий. Такой подход является экономически оправданным, но часто не учитывает экологической безопасности производства, связанной с неизбежными выбросами отходящих газов плазмохимических реакторов в окружающую среду. Основная проблема здесь заключается в том, что многие фторуглеродные газы (в том числе и наиболее часто используемые их представители – тетрафторметан и трифторметан) относятся к группе парниковых газов с высоким потенциалом глобального потепления (ПГП). ПГП – это параметр, численно определяющий радиационное (разогревающее) воздействие молекулы определенного парникового газа относительно молекулы CO_2 . В частности, величины ПГП для тетра- и трифторметана составляют 7390 и 14800, соответственно. По нашему мнению, задача повышения экологической безопасности технологических производств с использование плазмы тетра- и трифторметана требует

решения двух основных вопросов. Во-первых, это оптимизация режимов самого технологического процесса по степени диссоциации исходных молекул и выходу атомов фтора, не приводящая к ухудшению его выходных характеристик. Это позволит снизить содержание фторуглеродных компонентов в отходящих газах. И, во-вторых, это разработка методов утилизации отходящих газов, исключающих их попадание в атмосферу. Одним из таких методов может служить плазмохимическая конверсия в соединения, обладающие меньшими значениями ПГП. Очевидно, что реализация обоих направлений требует знания всей совокупности реакционных механизмов, обеспечивающих превращения молекул исходного газа в активные частицы и стабильные продукты плазмохимических реакций.

Целью данной работы являлось исследование кинетики и выявление реакционных механизмов, обуславливающих плазмохимическую конверсию тетра- и трифторметана в стабильные молекулярные продукты и активные частицы. В качестве объектов исследования были выбраны как чистые фторуглеродные газы, так и их бинарные смеси с аргоном переменной начальной состава. Интерес к последним обусловлен тем, что аргон часто используется как инертный газ-носитель для минимизации воздействия активного компонента на конструкционные материалы плазмохимического реактора и снижения выбросов токсичных веществ в окружающую среду. В то же время, из литературы [5–7] известно, что добавка аргона влияет на кинетику плазмохимических процессов во многих газах через изменение электрофизических параметров плазмы – средней энергии и концентрации электронов. Таким образом, доля аргона в плазмообразующей смеси может служить дополнительным инструментом регулирования концентраций целевых компонентов на выходе из реактора.

Методическая часть

Диагностика плазмы

Эксперименты проводились в цилиндрическом плазмохимическом реакторе проточного типа при возбуждении индукционного ВЧ (13.56 МГц) разряда. Конструкция реактора подробно описана в наших работах [5, 6]. В качестве плазмообразующих газов использовали химически чистые CF_4 , CHF_3 , а также их бинарные смеси с аргоном, доля которого варьировалась в диапазоне 0–50%. В качестве неизменных внешних (задаваемых) парамет-

ров плазмы выступали давление плазмообразующего газа $p = 6$ мтор (~ 0.8 Па) и вкладываемая мощность $W = 700$ Вт, что соответствовало удельной мощности ~ 0.08 Вт/см³.

Диагностика плазмы осуществлялась двойным зондом Лангмюра. Обработка зондовых вольт-амперных характеристик основывалась на известных положениях теории двойного зонда для разрядов низкого давления [8]. Результатом обработки выступали данные по температуре электронов (T_e) и плотности ионного тока (J_+), которые в дальнейшем использовались в качестве входных параметров при моделировании плазмы. Для минимизации погрешности зондовых измерений из-за образования фторуглеродной полимерной пленки на рабочей части зонда была задействована система импульсной очистки зондов ионной бомбардировкой.

Моделирование плазмы

Для получения данных по кинетике и концентрациям нейтральных невозбужденных частиц (атомов, радикалов, молекул в основном состоянии) использовалась 0-мерная кинетическая модель, подробно описанная в наших работах [5, 6, 9]. Модель использовала набор типовых предпосылок и допущений, обеспечивающих адекватное описание разрядов низкого ($p < 20$ мтор) давления во фторуглеродных газах, в том числе – в CF_4 и CHF_3 [10, 11]. В частности, полагалось, что:

- Функция распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) в условиях высоких степеней ионизации плазмообразующего газа ($n_+/N > 10^{-4}$, где n_+ – концентрация положительных ионов, а $N = p/k_B T_{gas}$ – суммарная концентрация частиц при данной температуре газа T_{gas}) удовлетворительно аппроксимируется распределением Максвелла;

- Гетерогенная рекомбинация атомов и радикалов протекает по первому кинетическому порядку (механизм Или-Ридила) и характеризуется вероятностью, не зависящей от внешних параметров плазмы;

- Низкая электроотрицательность плазмы CF_4 и CHF_3 в области $p < 20$ мтор приводит уравнение квазинейтральности к виду $n_e \approx n_+$, где n_e – концентрация электронов. Концентрация положительных ионов при этом определяется уравнением плотности ионного тока насыщения $J_+ \approx 0.61en_+v_B$ [12], где $v_B \approx \sqrt{eT_e/m_i}$ – скорость ионов на границе двойного электрического слоя у поверхности зонда [4], а m_i – эффективная масса ионов.

Последний параметр может быть найден в предположении, что мольная доля каждого типа положительного иона пропорциональна $k_{iz}y_x/\sqrt{1/m_x}$, где k_{iz} и y_x – константа скорости ионизации и мольная доля соответствующей нейтральной частицы массой m_x .

Наборы реакций и их кинетических характеристик (констант скоростей объемных процессов, вероятностей гетерогенной рекомбинации атомов и радикалов) в плазме CF_4 и CHF_3 (табл. 1) были заимствованы из работ [10, 11]. Корректность используемых кинетических схем подтверждается удовлетворительным согласием расчетных параметров плазмы и концентраций частиц с результатами независимых экспериментов [10, 11, 13]. Выходными параметрами служили скорости процессов образования и гибели нейтральных частиц и их концентрации, усредненные по объему реактора.

Результаты и их обсуждение

При исследовании электрофизических параметров плазмы в чистых CF_4 и CHF_3 при одинаковых условиях возбуждения разряда было найдено, что первая система характеризуется более низкими значениями температуры (средней энергии) электронов, плотности ионного тока и концентраций заряженных частиц – электронов и положительных ионов (табл. 2). Наблюдаемые различия температуры электронов ($T_e = 3.6$ эВ в CF_4 vs. 5.2 эВ в CHF_3) обусловлены различной эффективностью каналов потери энергии электронов в процессах неупругого взаимодействия с доминирующими нейтральными компонентами газовой фазы (рис. 1). В частности, плазма тетрафторметана отличается более высокими потерями энергии на ионизацию молекул CF_4 по сравнению с потерями на ионизацию HF в плазме CHF_3 . Такая ситуация обеспечивается за счет высокой константы скорости ионизации молекул CF_4 (1.2×10^{-10} см³/с по сравнению с 4.6×10^{-11} см³/с для HF при $T_e = 3$ эВ) при близких пороговых энергиях ионизации обеих частиц. В то же время, более высокие значения T_e в плазме трифторметана обуславливают аналогичные различия в суммарных частотах ионизации нейтральных частиц ($\sim 3.1 \times 10^4$ с⁻¹ в CF_4 vs. $\sim 1.4 \times 10^5$ с⁻¹ в CHF_3). Следовательно, отмеченные различия в концентрациях заряженной компоненты плазмы и плотности ионного тока напрямую связаны с различиями в скоростях генерации соответствующих частиц в объеме плазмы.

Таблица 1. Кинетическая схема нейтральных невозбужденных частиц в плазме CF_4 и CHF_3

Реакция		x	k	Реакция		x	k		
1.	$CHF_x + e = F + CHF_{x-1} + e$	3	4.1(-12)	12.	$CF_x + F_2 = CF_{x+1} + F$	3	6.3(-14)		
		2	2.2(-12)			2	7.9(-14)		
2.	$CHF_x + e = H + CF_x + e$	3	5.6(-11)	13.	$CF_x + H = CF_{x-1} + HF$	1	4.0(-12)		
		2	5.6(-11)			3	7.9(-11)		
		1	5.6(-11)			2	3.2(-11)		
3.	$CHF_x + e = HF + CF_x + e$	3	1.4(-12)	14.	$F_2 + H = HF + F$		8.2(-12)		
4.	$CF_x + e = F + CF_{x-1} + e$	4	6.7(-11)					15.	$H_2 + F = HF + H$
		3	5.3(-10)	16.	$F(s) + CHF_x = CHF_{x+1}$ $F(s) + CF_x = CF_{x+1}$ $F(s) + F = F_2$ $F(s) + H = HF$	1,2	32		
		2	6.7(-10)			1-3			
		1	2.1(-10)						
5.	$CF_x + e = F + CF_{x-1}^+ + 2e$	4	1.0(-10)	17.	$H(s) + CF_x = CHF_x$ $H(s) + F = HF$ $H(s) + H = H_2$	1-3	316		
6.	$HF + e = H + F + e$		3.2(-10)						
7.	$F_2 + e = 2F + e$		1.8(-09)						
8.	$H_2 + e = 2H + e$		4.2(-10)	18.	$CF_x(s) + F = CF_{x+1}$	3	126		
9.	$CHF_x + F = HF + CF_x$	3	1.6(-13)					2	200
		2	3.2(-11)						
		1	3.3(-11)						
10.	$CHF_x + H = HF + CHF_{x-1}$	2	3.2(-10)	19.	$CF_x(s) + H = CHF_x$	3	126		
		1	3.1(-10)					2	200
11.	$CF_x + F = CF_{x+1}$	3	1.0(-12)						
		2	4.2(-13)						
		1	5.0(-15)						

Примечания: 1) запись константы скорости в виде 1.0(-12) соответствует значению 1.0×10^{-12} ; 2) константы скоростей R1–R15 в $см^3/с$, R16–R19 в $1/с$; 3) константы скоростей R1–R8 приведены для $T_e = 3$ эВ; 4) индекс (s) в R16–R19 указывает на адсорбированное состояние соответствующей частицы.

Таблица 2. Электрофизические параметры плазмы CF_4 и CHF_3

Содержание Ar, %	T_e , эВ		J_+ , mA/cm^2		$n_+ \approx n_e$, $10^{10} cm^{-3}$	
	CF_4	CHF_3	CF_4	CHF_3	CF_4	CHF_3
0	3.6	5.2	0.9	1.6	4.4	5.1
25	3.6	4.9	1.1	1.8	4.5	5.7
50	3.6	4.8	1.3	1.9	4.9	6.2

Из представленных данных следует, что плазма трифторметана сочетает более высокие значения температуры и концентрации электронов. Очевидным следствием этой особенности является более высокая эффективность процессов под действием электронного удара, приводящих к конверсии исходных молекул в продукты плазмохимических реакций.

При моделировании кинетики нейтральных частиц в плазме тетрафторметана было найдено, что доминирующим компонентом газовой фазы являются исходные молекулы CF_4 , при этом концентрации ненасыщенных фторуглеродных радикалов CF_x снижаются в последовательности $x = 3-2-1$ (рис. 1(a)). Причиной этого эффекта является ступенчатый механизм образования радикалов по реакции R4. Основным источником атомов фтора является диссоциация CF_4 и CF_3 (каналы $x = 4$ и 3 в R4), которая обеспечивает более 80% от суммар-

ной скорости их генерации в плазме. Второй по величине вклад $\sim 10\%$ принадлежит диссоциации молекул F_2 по механизму R7 из-за высокого значения константы скорости данного процесса ($\sim 3.2 \times 10^{-10} cm^3/с$ при $T_e = 3$ эВ) и концентрации молекул фтора. Последняя обеспечивается за счет доминирования канала $F(s) + F = F_2$ при гетерогенной рекомбинации атомов фтора по механизму R16. Процессы объемной рекомбинации атомов фтора по реакции R11 характеризуются значительно меньшими скоростями и практически не представляют конкуренции R16. Такая ситуация является типичной для разрядов низкого давления, отличающихся низкой плотностью газа и высокими транспортными коэффициентами (длина свободного пробега, коэффициент диффузии) нейтральных частиц, обуславливающими высокую вероятность их попадания на стенку реактора.

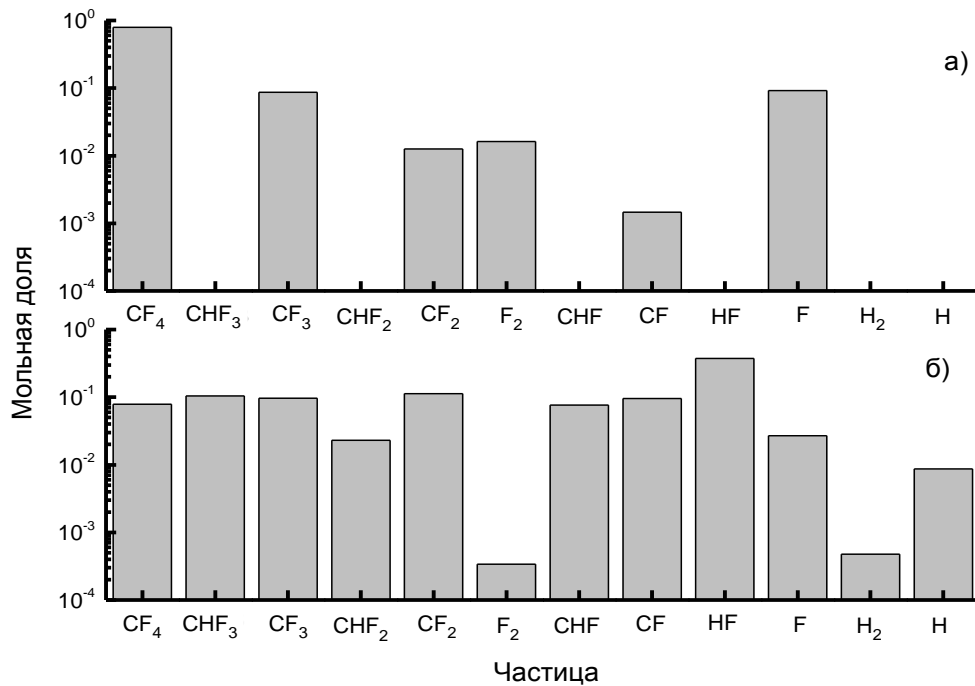


Рис. 1. Мольные доли нейтральных частиц в плазме CF_4 (а) и CHF_3 (б)

По изложенным выше данным можно заключить, что продуктами плазмохимического разложения тетрафторметана являются ненасыщенные компоненты, которые не участвуют в процессах перекрестного атомно-молекулярного взаимодействия. В такой ситуации, единственным эффективным механизмом управления концентрациями таких частиц (в том числе – атомов фтора) является увеличение скоростей их образования по R4 за счет увеличения электрической мощности, вкладываемой в плазму. На выходе из плазмохимического реактора (то есть в области $n_e = 0$) процессы R11, R16 и R19 приведут к восстановлению радикалов CF_x в исходные молекулы, при этом доля F_2 в отходящих газах не превысит значений, указанных на рис. 1(а). Таким образом, эффективность метода прямой (без привлечения дополнительных реагентов) конверсии тетрафторметана является низкой.

На наш взгляд, наиболее очевидным направлением повышения степени конверсии тетрафторметана является использование кислородсодержащих смесей. В частности, из результатов работ [9, 14] следует, что в смесях $\text{CF}_4 + \text{O}_2$ эффективно протекают атомно-молекулярные реакции вида $\text{CF}_x + \text{O} = \text{CF}_{x-1}\text{O} + \text{F}$, которые, в конечном итоге, приводят к образованию стабильных молекул CO_2 , CO и CF_2O . Последние отличаются более низкими значениями потенциалов глобального потепления по сравнению с CF_4 .

При моделировании кинетики нейтральных частиц в плазме трифторметана было найдено, что основными компонентами газовой фазы являются HF , CHF_3 и CF_x ($x = 1-3$) (рис. 1(б)). Лидирующая позиция HF среди других продуктов диссоциации обусловлена сочетанием нескольких факторов, обуславливающих высокую скорость генерации этих частиц в объеме плазмы. Наиболее значимыми из этих факторов являются: а) непосредственное образование HF из молекул трифторметана по реакции R3; б) эффективная реализация атомно-молекулярных процессов R9, R10 и R13, обеспечивающих конверсию в HF компонентов вида CHF_x и CF_x . Основными каналами образования атомов фтора в объеме плазмы является диссоциация HF по R6 (~ 45 %) и CF_2 по R4 (~ 20 %, по причине максимального значения константы скорости R4 для $x = 2$, см. табл. 1). Суммарная скорость образования атомов фтора в плазме CHF_3 превышает аналогичные значения для плазмы CF_4 , но не приводит к ожидаемым различиям величин n_F . Причиной этого являются высокие скорости гибели атомарного фтора в объеме плазмы по реакции R9, скорость которой превышает скорость гетерогенной рекомбинации. Еще одним важным эффектом R9 является перевод соединений вида CHF_x в CF_x . В сочетании с высокими скоростями образования радикалов CF_x в процессах электронного удара R2 и R3, значительно более высокие концен-

трации радикалов CF_x по сравнению с плазмой тетрафторметана. Из представленных данных можно заключить, что особенностями состава газовой фазы в плазме трифторметана являются высокие концентрации стабильных частиц и перекрестное атомно-молекулярное взаимодействие продуктов диссоциации исходных молекул - R9, R10 и R13. Так как последние не приводят к гибели молекул HF, высокая концентрация этих частиц сохранится и на выходе из реактора, в области послесвечения плазмы. По нашим оценкам, в составе отходящих газов можно ожидать не менее 45–50% HF и порядка 30–35% CHF_3 , при этом в остатке будут присутствовать CF_4 и H_2 . Таким образом, результатом прямой конверсии трифторметана является образование соединений с более низкими потенциалами глобального потепления, чем для исходного газа. Обратной стороной этого эффекта является высокая токсичность основного продукта конверсии – HF. Тем не менее, этот недостаток частично компенсируется легкостью утилизации газообразного HF в плавиковую кислоту, которая отличается высокой востребованностью в различных отраслях химической промышленности.

Резюмируя свойства плазмы чистых CF_4 и CHF_3 , можно с уверенностью утверждать, что, при одинаковых внешних параметрах разряда, плазма трифторметана отличается более низкими концентрациями атомов фтора, но более высокими – ненасыщенных фторуглеродных частиц. Последняя особенность позволяет предположить более высокую полимеризационную нагрузку (способность к высаживанию фторуглеродной полимерной пленки) плазмы трифторметана на контактирующие с ней поверхности.

Для количественного сравнения исследуемых систем по величине полимеризационной нагрузки, воспользуемся известными положениями по кинетике полимеризационных процессов во фторуглеродной плазме, которые изложены в работах [15–17]. В частности, можно полагать, что 1) в образовании полимерной пленки принимают участие фторуглеродные радикалы с двумя и более свободными связями (CF и CF_2 в плазме тетрафторметана, CF , CHF и CF_2 в плазме трифторметана); 2) эффективность полимеризации на поверхности обратно пропорциональна концентрации атомов фтора в газовой фазе; и 3) основным механизмом деструкции полимерной пленки является ее разрушение под действием ионной бомбардировки. Таким образом, скорость высаживания полимера может быть отслежена отношением Γ_{pol}/Γ_F , при этом стационарная толщина полимерной пленки пропорциональна $\Gamma_{pol}/\Gamma_F\Gamma_+$, где Γ_{pol} , Γ_F и Γ_+ - плотности потоков полимеробразующих радикалов, атомов фтора и положительных ионов, соответственно. Данные табл. 3 показывают, что абсолютные значения параметров Γ_{pol}/Γ_F и $\Gamma_{pol}/\Gamma_F\Gamma_+$ в плазме трифторметана более чем на порядок величины превышают аналогичные значения для плазмы тетрафторметана. Отрицательным моментом такого свойства является значительное загрязнение стенок плазмохимического реактора, обуславливающее необходимость периодических сервисных процедур. В качестве положительного момента следует отметить возможность целенаправленного формирования полимерных фторуглеродных (в том числе – тефлоноподобных) покрытий, отличающихся хорошими защитными свойствами.

Таблица 3. Параметры, характеризующие полимеризационную нагрузку плазмы CF_4 и CHF_3

Содержание Ar, %	$\Gamma_{pol}, 10^{16} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$		Γ_{pol}/Γ_F		$\Gamma_{pol}/\Gamma_F\Gamma_+, 10^{17} \text{ см}^2\text{с}$	
	CF_4	CHF_3	CF_4	CHF_3	CF_4	CHF_3
0	1.8	63.1	0.1	7.6	1.6	78.2
25	1.7	46.9	0.1	5.8	1.5	53.3
50	1.6	31.0	0.1	4.0	1.4	32.9

В заключении остановимся кратко на эффектах, сопровождающих изменение начального состава плазмообразующих смесей $CF_4 + Ar$ и $CHF_3 + Ar$. Увеличение доли аргона в обеих смесях при $p = \text{const}$ вызывает снижение потерь энергии электронов на колебательное и электронное возбуждение, но рост потерь на ионизацию по причине высокой ($\sim 2.7 \times 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$ при $T_e = 3 \text{ эВ}$) константы скорости ионизации атомов Ar. В системе $CF_4 + Ar$ эти эффекты взаимно компенсируются, что

приводит к выполнению условия $T_e \approx \text{const}$ (табл. 2). В то же время, в смеси $CHF_3 + Ar$ более резкий рост потерь энергии на ионизацию обеспечивает монотонное снижение температуры электронов. Одновременно, в обеих смесях имеет место увеличение суммарной частоты ионизации, которое обуславливает рост концентраций заряженных частиц. Таким образом, добавка аргона является фактором, стимулирующим протекание процессов под действием электронного удара. В частности, уве-

личение частот диссоциации компонентов вида CF_x по реакции R4 (в ~ 1.5 раза для $x = 4, 3$ при 0–50% Ar) в сочетании со снижением частоты гибели атомов фтора в R16, R18 и R19 приводит к тому, что концентрация этих частиц снижается всего в 1.3 раза при двукратном снижении содержания фторуглеродного ком-

понента в плазмообразующем газе (табл. 4). Фактически это означает, что добавка аргона увеличивает степень диссоциации тетрафторметана и, таким образом, дает возможность использования разбавленных смесей в технологических процессах, основанных на химических реакциях атомов фтора.

Таблица 4. Относительное изменение кинетики образования и концентрации атомов фтора в смесях $CF_4 + Ar$ и $CHF_3 + Ar$

Содержание Ar, %	v_F		R_F		n_F	
	CF_4	CHF_3	CF_4	CHF_3	CF_4	CHF_3
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
25	1.06	1.03	0.82	0.75	0.87	0.96
50	1.27	1.07	0.69	0.50	0.76	0.93

Примечание: $v_F = kn_e$ – суммарная частота образования атомов фтора в процессах электронного удара; R_F – суммарная скорость образования атомов фтора в процессах электронного удара. Показаны относительные значения с референсной точкой, соответствующей плазме чистых CF_4 и CHF_3 .

Напротив, в системе $CHF_3 + Ar$ частоты диссоциации доминирующих нейтральных частиц практически не зависят от содержания аргона в смеси, при этом скорость образования атомов F снижается пропорционально доле фторуглеродного компонента в плазмообразующем газе. Тем не менее, падение концентрации атомов фтора с ростом доли аргона в смеси происходит еще медленнее, чем в предыдущем случае (табл. 4). Причиной этого является снижение частот гибели атомов фто-

ра по R9. Таким образом, качественно аналогичные эффекты изменения концентрации атомов фтора в обеих смесях вызваны совершенно различными причинами. В системе $CF_4 + Ar$ – это влияние Ar на кинетику образования атомов, а в системе $CHF_3 + Ar$ – на кинетику их гибели. Тем не менее, очевидным свойством плазмы $CHF_3 + Ar$ также является возможность использования смесей с высоким, до 50%, содержанием аргона без существенных потерь в концентрации атомов фтора.

Список литературы / References

1. Wolf S., Tauber R.N. *Silicon Processing for the VLSI Era. Volume 1. Process Technology*. Lattice Press, New York, 2000. 416 p.
2. Rossmagel S.M., Cuomo J.J., Westwood W.D. (Eds.). *Handbook of plasma processing technology*. Noyes Publications, Park Ridge, 1990. 338 p.
3. Roosmalen A.J., Baggerman J.A.G. and Brader S.J.H. *Dry etching for VLSI*. Plenum Press, New-York, 1991. 490 p.
4. Lieberman M. A., Lichtenberg A. J. *Principles of plasma discharges and materials processing*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1994. 757 p.
5. Kwon K.-H., Efremov A., Kim M., Min N. K., Jeong J., Kim K. A model-based analysis of plasma parameters and composition in HBr/X ($X=Ar, He, N_2$) inductively coupled plasmas. *J. Electrochem. Soc.*, 2010, vol. 157, pp. H574-H579.
6. Efremov A., Min N. K., Choi B. G., Baek K. H., Kwon K.-H. Model-based analysis of plasma parameters and active species kinetics in

Cl_2/X ($X=Ar, He, N_2$) inductively coupled plasmas. *J. Electrochem. Soc.*, 2008, vol. 155, pp. D777-D782.

7. Efremov A. M., Kim D.-P., Kim C.-I. Effect of gas mixing ratio on gas-phase composition and etch rate in an inductively coupled CF_4/Ar plasma. *Vacuum*, 2004, issue 75, pp. 133–142.

8. Johnson E. O., Malter L. A floating double probe method for measurements in gas discharges. *Phys. Rev.*, 1950, vol. 80, pp. 58–70.

9. Chun I., Efremov A., Yeom G. Y. and Kwon K.-H. A comparative study of $CF_4/O_2/Ar$ and $C_4F_8/O_2/Ar$ plasmas for dry etching applications. *Thin Solid Films*, 2015, issue 579, pp. 136–148.

10. Kimura T., Ohe K. Model and probe measurements of inductively coupled CF_4 discharges. *J. Appl. Phys.*, 2002, issue 92, pp. 1780–1787.

11. Ho P., Johannes J. E., Buss R. J. Modeling the plasma chemistry of C_2F_6 and CHF_3 etching of silicon dioxide, with comparisons to etch rate and diagnostic data. *J. Vac. Sci. Technol. A.*, 2001, issue 19, pp. 2344–2367.

12. Sugavara M. *Plasma etching: Fundamentals and applications*. Oxford University Press, New York, 1998. 469 p.

13. Proshina O., Rakhimova T. V., Zotov A., Lopaev D. V., Zyryanov S. M., Rakhimov A. T. Multifold study of volume plasma chemistry in Ar/CF₄ and Ar/CHF₃ CCP discharges. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 2017, issue 26, p. 075005.

14. Lim N., Efremov A., Yeom G.Y., Kwon K.-H. On the etching characteristics and mechanisms of HfO₂ thin films in CF₄/O₂/Ar and CHF₃/O₂/Ar plasma for nano-devices. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 2014, issue 14, pp. 9670–9679.

15. Stoffels W. W., Stoffels E., Tachibana K. Polymerization of fluorocarbons in reactive ion

etching plasmas. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1998, issue 16, pp. 87–95.

16. Standaert T. E. F. M., Hedlund C., Joseph E. A., Oehrlein G. S. Role of fluorocarbon film formation in the etching of silicon, silicon dioxide, silicon nitride, and amorphous hydrogenated silicon carbide. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2004, issue 22, pp. 53–60.

17. Gray D. C., Tepermeister I., Sawin H. H. Phenomenological modeling of ion enhanced surface kinetics in fluorine-based plasma etching. *J. Vac. Sci. Technol. B.*, 1993, issue 11, pp. 1243–1257.

Ефремов Александр Михайлович

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

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

профессор, доктор химических наук, профессор

E-mail: amefremov@mail.ru

Efremov Aleksandr Mihailovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«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

professor, doctor of chemical sciences, professor

E-mail: amefremov@mail.ru

Хонгорова Ольга Викторовна

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

кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: ov.khongorova08@yandex.ru

Khongorova Olga Viktorovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of physical and mathematical sciences, docent

E-mail: ov.khongorova08@yandex.ru

Снегирев Дмитрий Геннадьевич

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

Доцент, кандидат технических наук, доцент

E-mail: snegirev.1965@bk.ru

Snegirev Dmitry Gennad'evich

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

Russian Federation, Ivanovo

docent, candidate of technical sciences, docent

E-mail: snegirev.1965@bk.ru

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

УДК 614.843.27

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ВОДОПРОВОДОВ
ПРИ НИЗКИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

В. Б. БУБНОВ¹, Н. Н. ЕЛИН, Д. С. РЕПИН¹, И. В. ХАЗОВА¹

¹ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: kafppv@mail.ru

Разработана инженерная методика расчета теплового состояния противопожарных водоводов наземной прокладки, работающих в условиях низких отрицательных температур окружающего воздуха. В основу методики расчета положена нелинейная ячеечная математическая модель сложного процесса теплопроводности в составной кольцевой области водопровода с учетом всех факторов, влияющих на исследуемый процесс: наличие фазовых переходов, изменение теплофизических свойств и действие внутренних источников теплоты. В математическом описании учитывается кинетика промерзания тепловой изоляции и транспортируемой жидкости.

Методика расчета реализована в виде компьютерной программы, которая позволяет проводить расчет трех различных вариантов: в стационарном режиме, в случае аварийного отключения подачи воды и при изменении метеоусловий.

Представлены результаты расчетов, выполненные по предлагаемой методике и по методике, не учитывающей явления замерзания и оттаивания влаги в тепловой изоляции. Результаты сравнения экспериментальных данных с расчетом по предлагаемой методике показали их хорошую сходимость.

Показано, что учет частичного промерзания тепловой изоляции позволяет существенно повысить точность расчета распределения температуры в работающем водопроводе и динамики остывания воды в аварийно остановленном водопроводе.

Ключевые слова: противопожарный водовод, частичное промерзание, тепловая изоляция, температура, математическая модель, методика расчета, фазовый переход.

**SIMULATION AND CALCULATION OF FIRE WATER PIPES
AT LOW NEGATIVE TEMPERATURES**

V. B. BUBNOV¹, N. N. YELIN, D. S. REPIN¹, I. V. KHAZOVA¹

¹Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: kafppv@mail.ru

An engineering technique has been developed for calculating the thermal state of ground-based fire-fighting water lines operating in conditions of low negative ambient temperatures. The calculation method is based on a nonlinear cellular mathematical model of a complex process of thermal conductivity in a compound annular area of a water supply system, taking into account all factors affecting the process under study: the presence of phase transitions, a change in thermophysical properties and the action of internal sources of heat. The mathematical description takes into account the freezing kinetics of thermal insulation and transported liquid.

The calculation method is implemented in the form of a computer program that allows the calculation of three different options: in a stationary mode, in the event of an emergency shutdown of the water supply and when the weather conditions change.

The results of calculations performed according to the proposed method and according to a method that does not take into account the phenomena of freezing and thawing of moisture in thermal insulation are presented. The results of comparing the experimental data with the calculation according to the proposed method showed their good convergence.

It is shown that taking into account the partial freezing of thermal insulation makes it possible to significantly increase the accuracy of calculating the temperature distribution in a working water supply system and the dynamics of water cooling in an emergency shutdown water supply system.

Key words: fire water conduit, partial freezing, thermal insulation, temperature, mathematical model, calculation method, phase transition.

«Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года»¹ являются документом стратегического планирования в сфере обеспечения национальной безопасности России и разработаны в целях защиты национальных интересов страны.

В числе основных направлений реализации государственной политики Российской Федерации в Арктике - социальное и экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации, а также развитие ее инфраструктуры; развитие науки и технологий в интересах освоения Арктики; обеспечение защиты населения и территорий Арктической зоны Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Одной из основных задач в сфере обеспечения защиты населения и территорий Арктической зоны Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера является осуществление научно-технического, нормативно-правового и методического сопровождения деятельности по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечению пожарной безопасности и безопасности на водных объектах в арктических условиях.

При проектировании, строительстве и эксплуатации противопожарных водоводов в природно-климатических условиях Арктики необходимо учесть их особенности: надземную прокладку, возможное частичное промерзание наружного слоя теплоизоляции и, как следствие, уменьшение её термического сопротивления, быстрое замерзание воды при аварийных отключениях [1].

Существующие методы расчета данного нестационарного теплового процесса основаны на рассмотрении его как квазистационарного [1]. При этом используется балансовое уравнение, согласно которому теплота, аккумулированная в наполненном жидкостью теплоизолированном трубопроводе в диапазоне от начальной температуры до температуры замерзания, и тепло, выделяющееся при образовании слоя замерзшей жидкости, занимающего 25 % живого сечения трубопровода, приравнивается к тепловой потере за период остановки движения жидкости. Однако при этом не учитывается изменение теплофизических параметров слоя теплоизоляции в рассматриваемый период, обусловленные изменением ее температуры, а главное – при ее частичном промерзании. Метод расчета, основанный на этих допущениях, не способен учитывать изменение параметров окружающей среды, которое в Арктике может происходить достаточно быстро.

Использование математического описания фундаментальных закономерностей рассматриваемого процесса с помощью дифференциальных уравнений в частных производных возможно только при весьма далеко идущих упрощениях, часто входящих в противоречие с важными реальными особенностями моделируемого процесса [2, 3]. Например, фазовые переходы при промерзании и оттаивании влажной тепловой изоляции не позволяют рассчитывать на аналитические решения уравнения теплопроводности, описывающего тепловые процессы в поперечном сечении трубопровода. Требуются другие подходы, так или иначе связанные с численной процедурой решения.

Среди таких подходов важную роль играют ячеечные модели и связанный с ними математический аппарат теории цепей Маркова. В [4–6] разработана нелинейная ячеечная математическая модель сложного процесса теплопроводности в составной кольцевой об-

¹ Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года. Утв. Указом Президента РФ от 05.03.2020 № 164.

ласти с учетом фазовых переходов, изменения теплофизических свойств и действия внутренних источников теплоты, на основе которой предложено описание переходного теплового процесса в сечении трубопровода с подвижной и неподвижной жидкостью, учитывающее кинетику промерзания изоляции и самой жидкости. Выявлено влияние конструктивных и режимных факторов обогревающих элементов на кинетику этого процесса.

Инженерная методика расчета тепловлажностного состояния слоя тепловой изоляции трубопровода, транспортирующего воду, и стационарных и переходных режимов его эксплуатации, реализована в виде компьютер-

ной программы, вид окна «Исходные данные» которой представлен на рис. 1. Список исходных данных делится на четыре группы: «Конструкция трубопровода», «Конструкция тепловой изоляции», «Режим эксплуатации» и «Параметры наружного воздуха». Для заполнения информации по каждой из групп необходимо войти в соответствующий раздел меню.

Расчет может быть выполнен в трех вариантах: «Стационарный режим», «Отключение подачи воды» и «Изменение метеоусловий». После выбора требуемого варианта расчета появляется окно, в котором требуется заполнить перечень исходных данных для расчета.

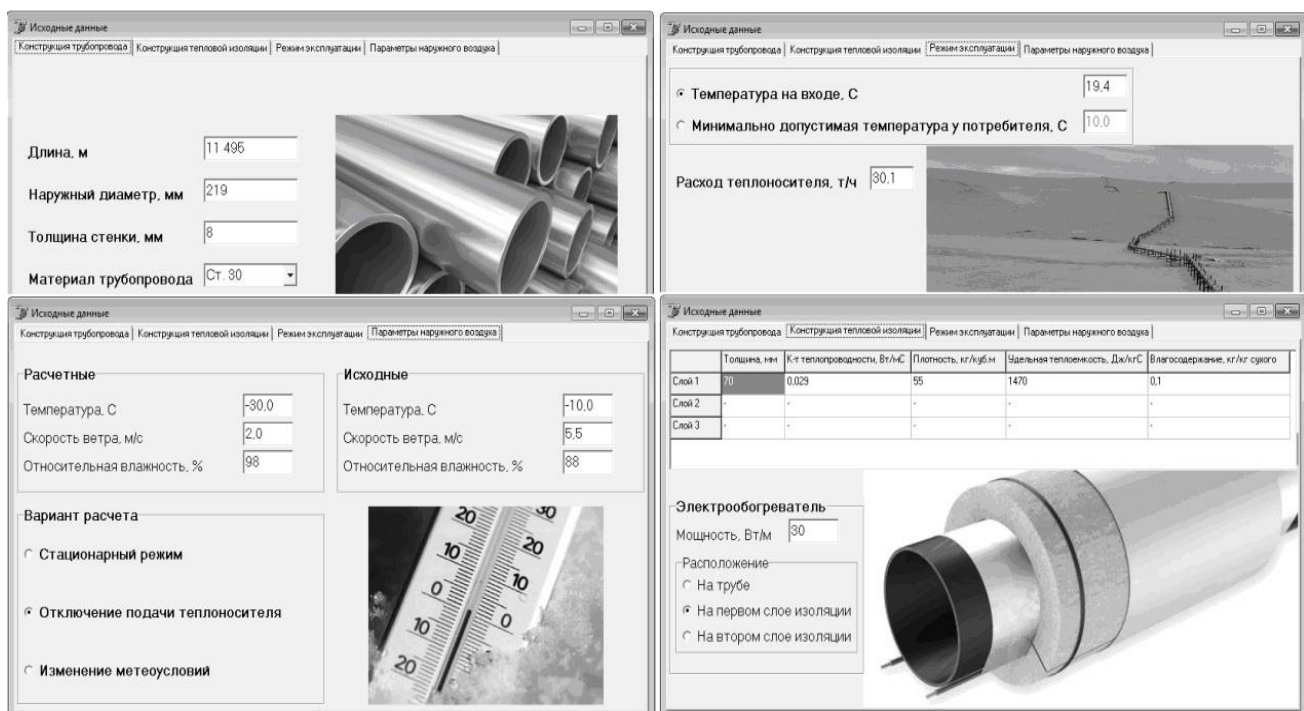


Рис. 1. Интерфейс программы «Режим работы теплоизолированного трубопровода». Исходные данные

Реализация варианта «Стационарный режим» позволяет рассчитать распределение температуры по толщине слоя тепловой изоляции на любом расстоянии от головных сооружений при рассчитанном ранее распределении температуры жидкости по длине трубопровода.

Расчет по варианту «Изменение метеоусловий» дает возможность прогнозировать динамику распределения температуры по толщине слоя тепловой изоляции на любом расстоянии от головных сооружений и время завершения переходного процесса.

Расчет по варианту «Отключение подачи» позволяет определить время, в течение

которого замерзнет не более 25 % воды, находящейся в трубопроводе, накопленные потери теплоты в течение заданного времени с начала останова, а также распределение температуры по толщине слоя тепловой изоляции на любом расстоянии от головных сооружений для любого заданного момента времени.

На рис. 2 представлены результаты расчета процесса остывания воды в отключенном водопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха, выполненные по предлагаемой методике и по методике [1], не учитывающей явления замерзания и оттаивания влаги в теплоизоляции.

Из графика видно, что температура воды в трубопроводе, рассчитанная по предлагаемой методике с учетом промерзания влаги в теплоизоляции, сначала уменьшается медленнее, чем рассчитанная по [1], а затем быстрее. Очевидно, что это связано с тем, что выделение теплоты фазового перехода (удельной теплоты замерзания) препятствует охлаждению воды на первой стадии процесса, когда происходит промерзание тепловой изоляции, а на второй стадии, когда теплоизоляция промерзла и ее теплопроводность стала меньше, чем у влажной теплоизоляции, процесс охлаждения ускоряется.

На этот же график нанесены результаты натуральных замеров температуры воды на

расстоянии 512 м от выхода из насосной станции, выполненные при производстве ремонтных работ, длившихся 26 часов. Средняя температура окружающего воздуха за этот период составляла $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результаты сравнения с расчетом по предлагаемой методике показывают хорошую сходимость.

На рис. 3 представлены результаты расчетов времени, в течение которого температура воды в отключенном трубопроводе понизится до температуры замерзания (кривая 2) и в течение которого замерзнет 25 % находящейся в нем воды по предлагаемой методике и по методике [1], не учитывающей процессов замерзания влаги в теплоизоляции.

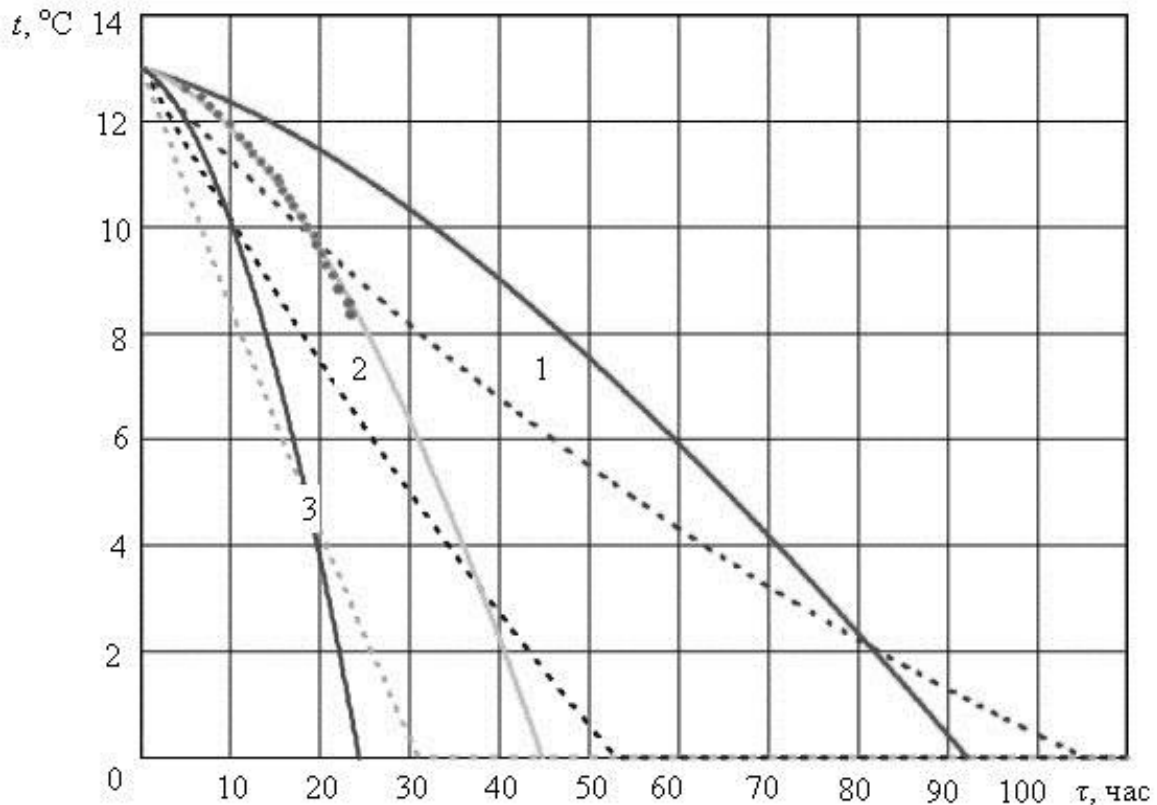


Рис. 2. Динамика остывания жидкости в трубопроводе при его остановке в зависимости от температуры наружного воздуха: точки – данные натуральных обследований, кривые – результаты расчетов: сплошные линии – расчет по предлагаемой методике, пунктир – по методике [1]: 1 – $t_n = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $t_n = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $t_n = -47\text{ }^{\circ}\text{C}$

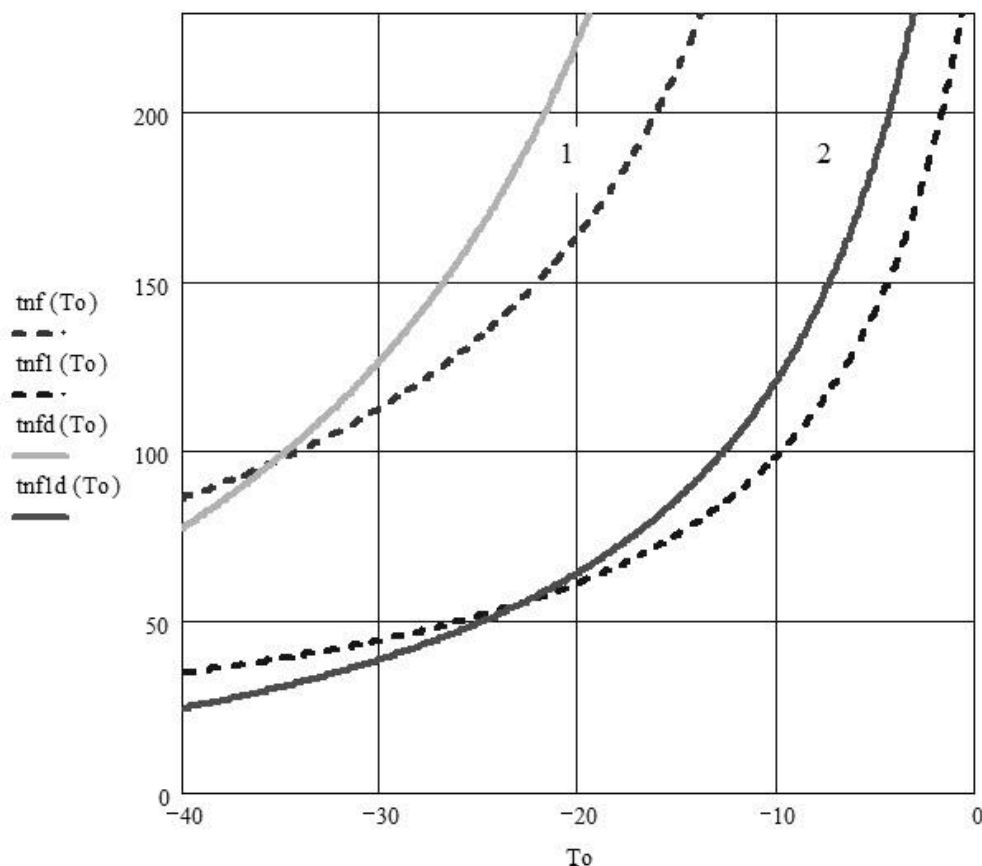


Рис. 3. Зависимости времени, в течение которого водопровод может быть отключен, от температуры наружного воздуха, рассчитанные по предлагаемой методике (сплошные линии) и по методике [1] (пунктир): 1 – с учетом допустимого заморозания в нем 25 % воды; 2 – без учета заморозания

Результаты расчетов показывают, что при уменьшении температуры окружающей среды влияние уменьшения теплопроводности теплоизоляции при ее промерзании доминирует над влиянием замедления остывания воды вследствие выделения теплоты фазового перехода.

Таким образом, показано, что процессы охлаждения и промерзания тепловой изоляции

трубопровода вносят заметный вклад в тепловой баланс процесса, а учет их кинетики позволяет повысить точность теплового расчета.

Предложенная математическая модель процесса и алгоритм ее численной реализации позволяют повысить точность расчетных прогнозов теплового состояния трубопроводов при низких температурах.

Список литературы

1. Тепловая изоляция: справочник / под ред. Г. Ф. Кузнецова. 3-е изд. М.: Стройиздат, 1985. 440 с.
2. Кузнецов Г. В., Половников В. Ю. Математическое моделирование процессов тепловлагопереноса в тепловой изоляции трубопроводов // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. № 6. С. 37–39.
3. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едитори-

ал УРСС, 2003. 784 с.

4. Мизонов В. Е., Елин Н. Н., Попельшко А. В. Ячеичная модель теплового состояния поперечного сечения теплоизолированного трубопровода // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2013. Т. 55. Вып. 4. С. 113–115.

5. Использование электрообогрева для повышения надёжности эксплуатации противопожарных водопроводов в районах Крайнего Севера / Н. Н. Елин, В. Б. Бубнов, В. А. Комельков [и др.] // Технологии техно-

сферной безопасности. 2019. Вып. 2(84). С. 108-118. DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.108-118.

6. Разработка рекомендаций по повышению надежности эксплуатации наружных противопожарных водопроводов в природно-климатических условиях Арктики / В. Б. Бубнов, Д. С. Репин, И. В. Хазова [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 21 апреля 2020 г. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 35–38.

References

1. *Teplovaya izolyatsiya: spravochnik* [Thermal insulation: handbook]. Moscow: Stroyizdat, 1985, 440 p.

2. Kuznetsov G. V., Polovnikov V. YU. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov teplovlagoperenosa v teplovooy izolyatsii truboprovodov [Mathematical modeling of heat and moisture transfer processes in thermal insulation of pipelines]. *Energoberezheniye i vodopodgotovka*, 2007, issue 6, pp. 37–39.

3. Samarskiy A. A., Vabishchevich P. N. *Vychislitel'naya teploperedacha* [Computational heat transfer]. Moscow: Editorial URSS, 2003, 784 p.

4. Mizonov V. Ye., Yelin N. N., Popelyshko A. V. Yacheyechnaya model' teplovogo sostoyaniya poperechnogo secheniya teploizolirovannogo truboprovoda [Cell model of the thermal state of the cross section of a heat-insulated pipeline]. *Izvestiya VUZov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2013, vol. 55, issue 4, pp. 113–115.

5. Ispol'zovaniye elektroobogreva dlya povysheniya nadozhnosti ekspluatatsii protivopozharnykh vodoprovodov v rayonakh Kraynego Severa [Use of electric heating to increase the reliability of operation of fire-fighting water pipelines in the Far North] / N. N. Yelin, V. B. Bubnov, V. A. Komel'kov [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2019, Vol. 2(84), pp. 108–118. DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.108–118.

6. Razrabotka rekomendatsiy po povysheniyu nadezhnosti ekspluatatsii naruzhnykh protivopozharnykh vodoprovodov v prirodno-klimaticheskikh usloviyakh Arktiki [Development of recommendations for improving the reliability of operation of external fire-fighting water pipelines in the natural and climatic conditions of the Arctic] / V. B. Bubnov, D. S. Repin, I. V. Khazova [et al.]. *Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob'yektov: sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2020, pp. 35–38.

Бубнов Владимир Борисович

ФГБОУ ВО 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

Елин Николай Николаевич

доктор технических наук, профессор
E-mail: kafppv@mail.ru
Yelin Nikolay Nikolaevich
Doctor of technical sciences, professor
E-mail: kafppv@mail.ru

Репин Денис Сергеевич

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

E-mail: denisrep@mail.ru

Repin Denis Sergeevich

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

Russian Federation, Ivanovo

teacher

E-mail: denisrep@mail.ru

Хазова Ирина Викторовна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

обучающийся по программе магистратуры

E-mail: kafppv@mail.ru

Khazova Irina Viktorovna

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

Russian Federation, Ivanovo

graduate student

E-mail: kafppv@mail.ru

УДК 614.842

**РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНОГО ПОЛИГОНА
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ ПРОВЕДЕНИЯ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО
ПРОСТРАНСТВА И ВИДИМОСТИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ
И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ОБРУШЕНИЕМ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАЗРУШЕНИЕМ ИНЖЕНЕРНЫХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ «СТАЛКЕР»**

**М. В. ВИНОКУРОВ, И. А. КРАСНОВ, В. В. КИЧАЙКИН,
А. Н. НИТКИН, Е. С. ЧУМАКОВ, Д. С. БЕЛОВ**

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

E-mail: vimifi@yandex.ru, iw.krasnoff2013@yandex.ru,
mordvin535@mail.ru, andrey_611@mail.ru, fireglobus@inbox.ru

В настоящее время перед образовательными организациями МЧС России особенно остро стоит вопрос в обучении и воспитании квалифицированных специалистов в области пожарной безопасности. В основе такой подготовки должно лежать оптимальное сочетание фундаментального образования и прикладной практики. Именно с этой целью на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России был разработан проект «Учебно-тренажерный полигон для формирования практических умений и навыков проведения аварийно-спасательных работ в условиях ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся обрушением строительных конструкций, разрушением инженерных и технологических коммуникаций «Сталкер»». В статье представлены основные элементы данного комплекса, практические задачи, отрабатываемые на них, а также знания и умения, формируемые у обучаемых, при выполнении аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: тренажерный полигон, Сталкер, аварийно-спасательные работы, практические занятия, знания и умения, чрезвычайная ситуация, пожарный, спасатель.

**THE DEVELOPMENT OF A TRAINING GROUND
FOR THE FORMATION OF PRACTICAL SKILLS OF CARRYING OUT
OF RESCUE WORKS IN CONDITIONS OF LIMITED SPACE
AND VISIBILITY FOR FIRE FIGHTING AND EMERGENCIES,
ACCOMPANIED BY COLLAPSE OF BUILDING STRUCTURES, DESTRUCTION
OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY OF COMMUNICATIONS «STALKER»**

**M. V. VINOKUROV, I. A. KRASNOV, V. V. KICHAYKIN,
A. N. NITKIN, E. S. CHUMAKOV, D. S. BELOV**

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: vimifi@yandex.ru, iw.krasnoff2013@yandex.ru,
mordvin535@mail.ru, andrey_611@mail.ru, fire-globus@inbox.ru

Currently, the educational organizations of the Ministry of emergency situations of Russia are particularly concerned with the training and education of qualified specialists in the field of fire safety. Such training should be based on an optimal combination of basic education and applied practice. With this purpose, on the basis of firefighting and rescue Academy Ivanovo state fire service of EMERCOM of Russia developed the project "Training ground for the formation of practical skills of carrying out of rescue works in condi-

tions of limited space and visibility for fire fighting and emergencies, accompanied by collapse of building structures, destruction of engineering and technology of communications «Stalker». The article presents the main elements of this complex, practical tasks that are worked out on them, as well as the knowledge and skills that are formed in students when performing emergency rescue operations.

Keywords: training ground, Stalker, emergency rescue, practical training, knowledge and skills, emergency, firefighter, lifeguard.

Обучение в системе Государственной противопожарной службы МЧС России сопровождается специальной физической подготовкой, которая развивает качества, необходимые при осуществлении профессиональной деятельности спасателя [1]. В настоящее время особенно остро стоит вопрос в обучении и воспитании квалифицированных специалистов в области пожарной безопасности. В основе такой подготовки должно лежать оптимальное сочетание фундаментального образования и прикладной практики.

Как отмечалось в [2] главная задача в обучении курсантов в сфере тушения пожаров и проведении аварийно-спасательных работ обеспечивается различным техническим оснащением, учебными комплексами и сооружениями. Основными учебными сооружениями для подготовки пожарных и спасателей относятся учебная башня, 100-метровая полоса с препятствиями, оборудованная бумом и забором, теплодымокамера и разнообразные преобразования тренажерных комплексов для подготовки газодымозащитников и ряд других. Данные сооружения предназначены для развития практических навыков работы у курсантов, однако они не обеспечивают подготовку специалиста в полном объеме.

С целью развития отработки практических навыков, касающихся проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ был разработан проект «Учебно-тренажерный полигон для формирования практических умений и навыков проведения аварийно-спасательных работ в условиях ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся обрушением строительных конструкций, разрушением инженерных и технологических коммуникаций «Сталкер»» (далее – полигон «Сталкер»).

Практическая значимость работы заключается в том, что данный полигон позволяет организовать проведение занятий по различным дисциплинам (безопасность жизнедеятельности, основы первой помощи, медицина катастроф, противопожарное водоснабжение, основы гражданской защиты, радиационная, химическая и биологическая защита, пожарно-спасательная подготовка, организация и веде-

ние аварийно-спасательных работ (далее – АСР), автоматизированные системы управления и связь, пожарная безопасность технологических процессов, охрана труда, поисково-спасательные работы, пожарная техника, пожарная безопасность электроустановок, пожарная тактика).

При проектировании полигона «Сталкер» предусматривалась прежде всего возможность моделирования как можно более широкого спектра условий, в которых работают спасатели при выполнении аварийно-спасательных работ (рис. 1).

При работах по ликвидации последствий пожаров на объектах с присутствием источников ионизирующих излучений, с возможностью выброса радиоактивных и химически опасных веществ повышается опасность личного состава спасательных звеньев из-за угрозы возникновения опасных уровней радиации, радиоактивного облучения людей, загрязнения боевой одежды и пожарной техники радиоактивными веществами.

Учебная точка «Место выполнения работ по обнаружению радиоактивных и отравляющих веществ с помощью приборов радиационной и химической разведки» (рис. 2) позволит отрабатывать вопросы применения учебных средств имитации радиоактивного и химического заражения, их обнаружения для выработки рациональных действий в разных условиях химической и радиационной обстановки с применением средств индивидуальной защиты и приборов мониторинга заражения.

Отдельный блок полигона «Сталкер», посвященный вопросам становления практических умений и навыков при проведении работ на электрических и технологических коммуникациях объектов защиты, представлен учебными точками «Проведение работ с проводами и электроустановками, находящимися под напряжением» (рис. 3) и «Проведение работ на технологических коммуникациях водоснабжения и газоснабжения для прекращения подачи воды и газа, и устранения аварий, связанных с утечкой воды и газа из технологических коммуникаций» (рис.4). Отработка основных требований охраны труда при проведении аварийно-спасательных работ на сетях электрооборудования без фактического подключения к

электросети, работа с диэлектрическим инструментом при извлечении пострадавшего при имитации воздействия на него электрического тока, оказание ему первой помощи, работа с гидравлическим аварийно-спасательным инструментом (далее – ГАСИ), деблокирование пострадавшего из-под завалов, отработка алгоритма действий по пере-

крытию трубопровода с последующей ликвидацией последствий чрезвычайной ситуации (далее – ЧС). Эти и многие другие упражнения с различными вводными, отрабатываемые здесь, позволят обучаемым сформировать знания и умения практической работы при проведении АСР на коммунально-энергетических инженерных сетях объекта.

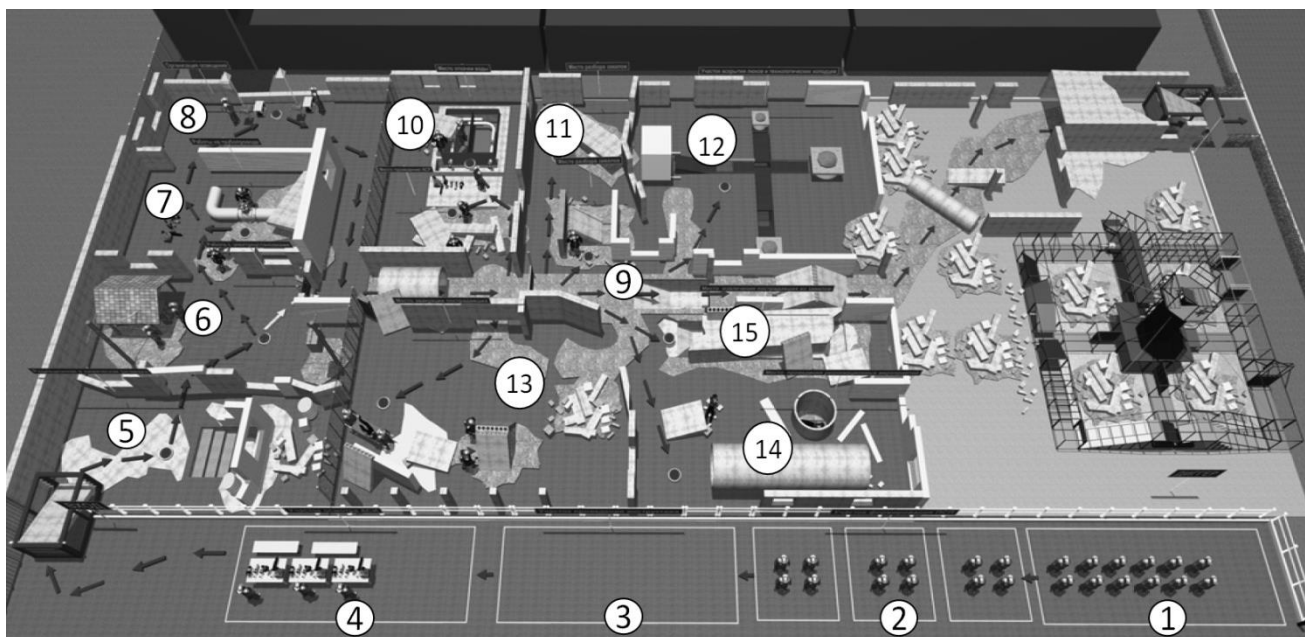


Рис. 1. Проект учебно-тренажерного полигона для формирования практических умений и навыков проведения аварийно-спасательных работ в условиях ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся обрушением строительных конструкций, разрушением инженерных и технологических коммуникаций «Сталкер»:

- 1, 2 – участок формирования пожарно-спасательных подразделений;
- 3 – участок проведения инструктажа;
- 4 – участок осмотра аварийно-спасательного инструмента (далее – АСИ);
- учебные точки: 5 – выполнение работ по обнаружению радиоактивных и отравляющих веществ с помощью приборов радиационной и химической разведки;
- 6 – проведение работ с проводами и электроустановками, находящимися под напряжением;
- 7 – проведение работ на технологических коммуникациях водоснабжения и газоснабжения для прекращения подачи воды и газа, и устранения аварий, связанных с утечкой воды и газа из технологических коммуникаций;
- 8 – установка оборудования для организации освещения участка проведения аварийно-спасательных работ;
- 9 – полоса препятствий;
- 10 – откачка воды для обеспечения выполнения АСР;
- 11 – разбор завалов с использованием гидравлического, электрического аварийно-спасательного инструмента и ручного механизированного инструмента;
- 12 – проведение работ по извлечению пострадавших из колодцев и шахт;
- 13 – проведение эвакуации пострадавших с использованием различных способов транспортировки;
- 14 – проведение реанимационных мероприятий и оказания первой помощи;
- 15 – проведение работ по извлечению пострадавших из завалов



Рис. 2. Место выполнения работ по обнаружению Радиоактивных и отравляющих веществ с помощью приборов радиационной и химической разведки



Рис. 3. Место проведения работ с проводами и электроустановками, находящимися под напряжением

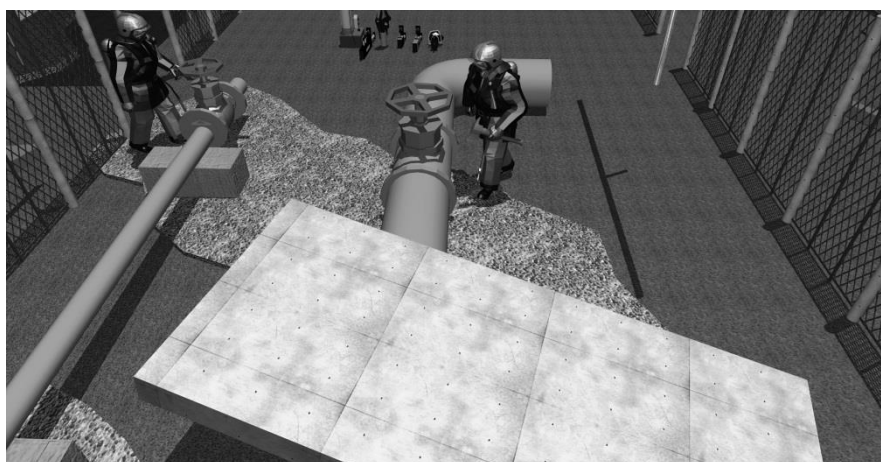


Рис. 4. Место проведения работ на технологических коммуникациях водоснабжения и газоснабжения для прекращения подачи воды и газа, и устранения аварий, связанных с утечкой воды и газа из технологических коммуникаций

Согласно [3] личный состав аварийно-спасательных подразделений принимает участие в проведении АСР и других неотложных работ по таким направлениям, как: поиск пострадавших в зоне ЧС; тушение возникших пожаров в зоне ЧС; деблокирование, извлечение, спасение пострадавших из аварийной среды; защита пострадавших от поражающих факторов источников ЧС; оказание пострадавшим первой помощи; обрушение или укрепление конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом; санитарная очистка территории, подвергшейся воздействию ЧС.

Отработка этих моментов осуществляется на основном модуле полигона «Сталкер», непосредственно предназначенном для подготовки и проведению аварийно-спасательных работ в условиях ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрез-

вычайных ситуаций, сопровождающихся обрушением строительных конструкций.

Он состоит из следующих учебных точек: «Место установки оборудования для организации освещения участка проведения аварийно-спасательных работ» (рис. 5), «Место откачки воды для обеспечения выполнения АСР» (рис. 6), «Место разбора завалов с использованием гидравлического, электрического аварийно-спасательного инструмента и ручного механизированного инструмента» (рис. 7), «Место проведения работ по извлечению пострадавших из колодцев и шахт» (рис. 8), «Место проведения эвакуации пострадавших с использованием различных способов транспортировки» (рис. 9), «Место проведения реанимационных мероприятий и оказания первой помощи» (рис. 10), «Место проведения работ по извлечению пострадавших из завалов» (рис. 11).



Рис. 5. Место установки оборудования для организации освещения участка проведения аварийно-спасательных работ

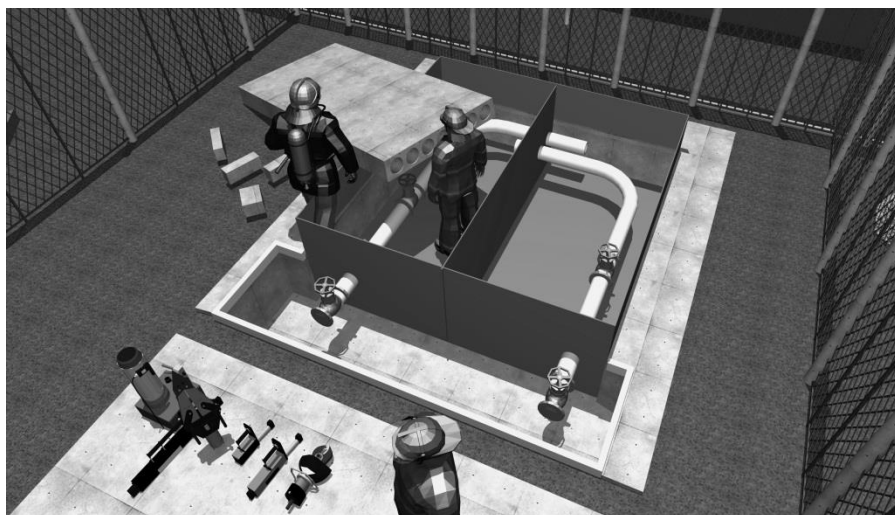


Рис. 6. Место откачки воды для обеспечения выполнения АСР

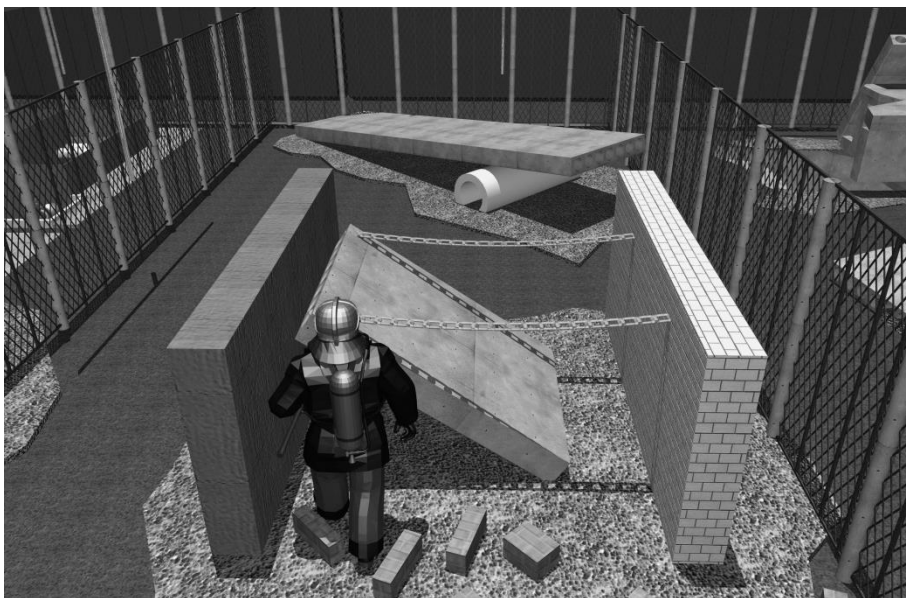


Рис. 7. Место разбора завалов с использованием гидравлического, электрического аварийно-спасательного инструмента и ручного механизированного инструмента

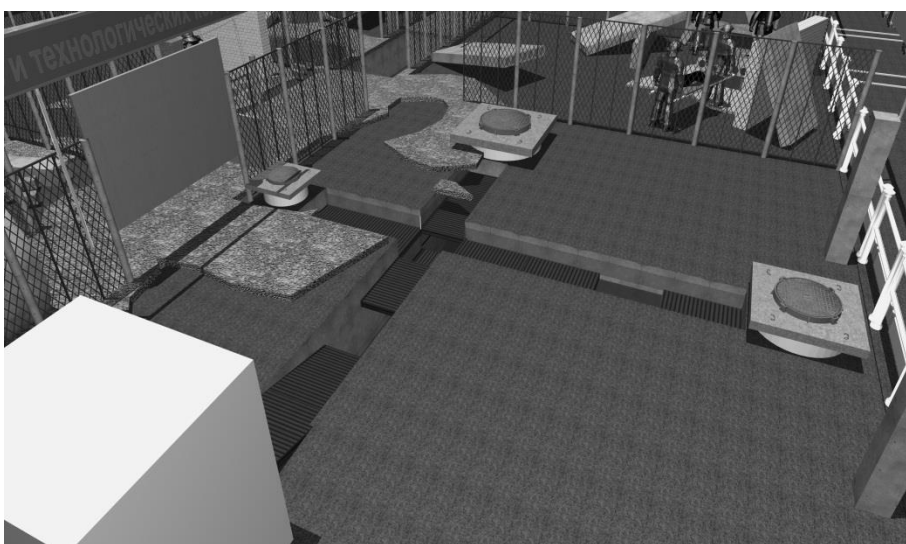


Рис. 8. Место проведения работ по извлечению пострадавших из колодцев и шахт

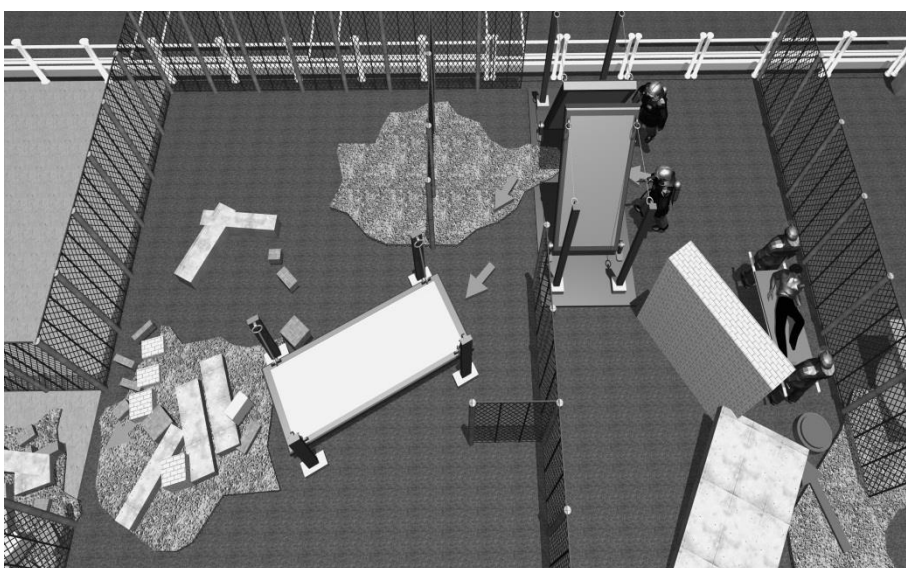


Рис. 9. Место проведения эвакуации пострадавших с использованием различных способов транспортировки



Рис. 10. Место проведения реанимационных мероприятий и оказания первой помощи

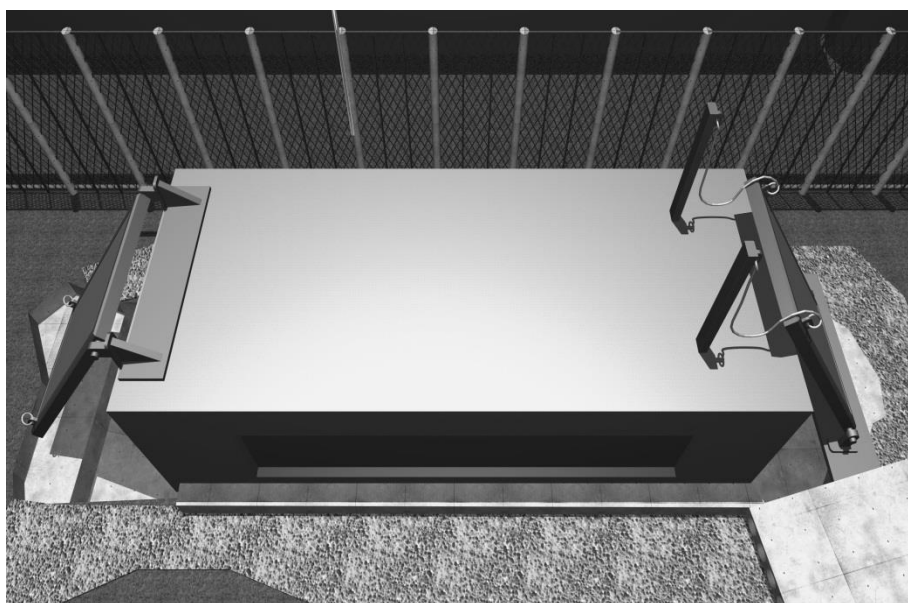


Рис. 11. Место проведения работ по извлечению пострадавших из завалов

В результате выполнения заданий в модуле у обучающихся формируются практические навыки оперативно-тактических действий при выполнении специальных работ (организация связи и освещение места работы пожарно-спасательных подразделений, работа с ГАСИ), работ по забору огнетушащих веществ из труднодоступных водоисточников с помощью различных насосных установок).

Выполнение основной задачи при проведении АСР – действия по спасению людей, имущества и (или) доведению до минимально возможного уровня воздействия взрывоопасных предметов, опасных факторов, характерных для аварий, катастроф и иных чрезвычайных ситуаций [3] реализуется при работе с

гидравлическим аварийно-спасательным инструментом для подъема, перемещения и фиксации строительных конструкций, деблокировании пострадавшего из завалов и колодцев с последующей транспортировкой различными способами и оказанием первой помощи в условиях, максимально приближенных к реальным.

Для развития двигательной способности, скоростно-силовой и общей выносливости, устойчивости организма к физическим нагрузкам, формированию морально-волевых качеств, овладения навыками коллективных действий на фоне повышенных физических нагрузок на полигоне «Сталкер» оборудована учебная точка «Полоса препятствий» (рис. 12).

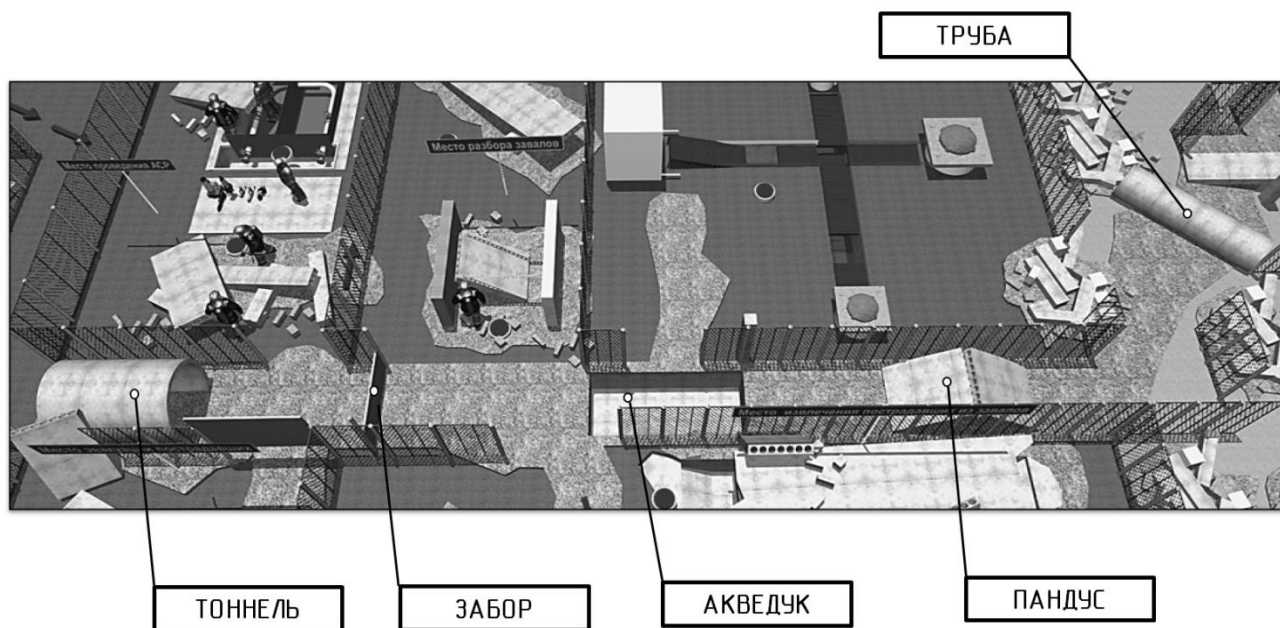


Рис. 12. Полоса препятствий

Функциональные возможности проектируемого учебно-тренажерного полигона «Сталкер», предназначенного для формирования практических умений и навыков проведения аварийно-спасательных работ в условиях

ограниченного пространства и видимости при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций, позволят выработать практический опыт подготовки обучаемых, повысить слаженность и безопасность работы личного состава.

Список литературы

1. Шарабанова И. Ю., Шипилов Р. М., Харламов А. В. Применение новых методов подготовки и обучения спасателей, работающих в чрезвычайных ситуациях // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14213>
2. Разработка многофункционального комплекса подготовки пожарных и спасателей по ведению аварийно-спасательных работ при дорожно-транспортных происшествиях / А. А. Костяев, И. А. Краснов, В. В. Кичайкин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. №3(36). С. 83–93.

References

1. Sharabanova I. Yu., Shipilov R. M., Kharlamov A. V. Primenenie novyh metodov podgotovki i obucheniya spasatelej, rabotayushchih v chrezvychajnyh situacijah [Application of new methods of training and training of rescuers working in emergency situations]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, issue 4. 90 p.
2. Razrabotka mnogofunkcional'nogo kompleksa podgotovki pozharnyh i spasatelej po vedeniyu avarijno-spasatel'nyh работ pri dorozhno-transportnyh proisshestviyah [Development of a multifunctional complex for training firefighters and rescuers to conduct emergency rescue operations in road accidents] / A. A. Kostyaev, I. A. Krasnov, V. V. Kichaykin [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 3(36), pp. 83–93.

Винокуров Михаил Владимирович
 ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
 Российская Федерация, г. Иваново
 начальник кафедры
 E-mail: vimifi@yandex.ru

Vinokurov 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

head of Department

E-mail: krasnoff2013@yandex.ru

Краснов Иван Александрович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

заместитель начальника кафедры

E-mail: iw.krasnoff2013@yandex.ru

Krasnov Ivan Alexandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

Deputy head of the Department

E-mail: iw.krasnoff2013@yandex.ru

Кичайкин Владимир Васильевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель

E-mail: mordvin535@mail.ru

Kichigin Vladimir Vasilyevich,

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: mordvin535@mail.ru

Ниткин Андрей Николаевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель

E-mail: andrey_611@mail.ru

Nitkin Andrey Nikolaevich

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

Russian Federation, Ivanovo

senior lecturer

E-mail: andrey_611@mail.ru

Чумаков Евгений Сергеевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель

E-mail: fireglobus@inbox.ru

Chumakov Evgeniy 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

lecturer

E-mail: fireglobus@inbox.ru

Белов Даниил Сергеевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель

Belov Daniil 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

lecturer

УДК 614.84

ДОБАВКИ К ОГNETУШАЩИМ СРЕДСТВАМ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМОВ, ПОВЫШАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕНЫ

Н. Ш. ЛЕБЕДЕВА, Н. А. ТАРАТАНОВ

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

E-mail: nat.lebede2011@yandex.ru, taratanov_n@mail.ru

Пены широко используются для тушения пожаров на промышленных предприятиях, складах, в нефтехранилищах, на транспорте и других объектах жилищно-коммунального хозяйства. Пены – дисперсные системы, состоящие из газа, окруженного пленками жидкости. Они характеризуются относительной агрегатной и термодинамической устойчивостью. Повышение стабильности пен – это актуальная научная и практическая задача, решение которой позволяет увеличить скорость тушения, уменьшить расход огнетушащего состава и уменьшить экологическую нагрузку от ПАВ, входящего в огнетушащий состав. В статье приводятся основные сведения о строении пен, факторах, влияющих на устойчивость пен, а также способах повышения устойчивости пен и используемых для этих целей стабилизаторов.

Ключевые слова: наночастицы, диоксид кремния, интенсивность разрушения, огнетушащие составы, пенообразователь.

ADDITIVES TO FIRE EXTINGUISHING AGENTS BASED ON SILICA THAT INCREASE THE STABILITY OF FOAM

N. SH. LEBEDEVA, N. A. TARATANOV

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: taratanov_n@mail.ru

Foams are widely used to extinguish fires in industrial enterprises, warehouses, oil storage facilities, transport and other housing and communal services. Foams are dispersed systems consisting of a gas surrounded by liquid films. They are characterized by relative aggregate and thermodynamic stability. Increasing the stability of foams is an actual scientific and practical task, which allows to increase the quenching rate, reduce the amount of extinguishing agent and reduce the environmental burden from the PAV that is included in the fire extinguishing composition. The article provides basic information about the structure of foams, factors affecting the stability of foams, as well as ways to increase the stability of foams and stabilizers used for this purpose.

Key words: nanoparticles, silicon dioxide, destruction intensity, fire extinguishing agents, foaming agents.

Пены – дисперсные системы с газовой дисперсной фазой и жидкой или твердой дисперсионной средой. Как правило, пены являются грубодисперсными высококонцентрированными системами, разбавленные системы типа газ жидкость иногда называют газовыми эмульсиями. Различают природные и искусственные пены. Первые встречаются в живой природе (морская пена, гнезда ласточек и др.),

вторые, созданы человеком. Если говорить о промышленных процессах, то в них, как правило, пенообразование является негативным фактором и его стремятся удалить, используются специальные средства – пеногасители, уменьшающие стабильность пены. Исключением является процессы получения газосиликатных блоков, пенопластов, полиуретанов и других строительных материалов, а также использование пен в пожаротушении, флотационных технологиях для повышения нефтеот-

дачи или извлечении минералов. В контексте данной работы наибольший интерес представляют пены для пожаротушения. Целью данной работы являлось обобщение сведения о строении пен, факторах, влияющих на устойчивость пен, а также способах повышения устойчивости пен и используемых для этих целей стабилизаторов. При этом особое внимание сосредоточено на возможности использования в качестве стабилизаторов пен – частиц кремнеземов различной дисперсности.

Первое упоминание об использовании пены для тушения пожаров принадлежит британскому ученому Дж. Джонсону, который первым запатентовал идею создания пены для тушения пожаров в 1877 году [1], а первая проверка пенного тушения пожара осуществлена в 1904 году российским инженером Александром Лораном [2]. Известно, что для поддержания горения необходимы три составляющих: кислород, горючее и тепло, при исчерпании любого из их горение прекращается. Противопожарные пены могут воздействовать на две составляющие одновременно, препятствуя доступу кислорода к горючему, охлаждая горючее до температуры ниже точки воспламенения. Поэтому для большей эффективности противопожарная пена должна сохраняться как можно дольше, чтобы снизить риск по-

вторного возгорания. Поэтому так важны исследования пен, и способов увеличения их устойчивости.

В XIX веке бельгийский физик Джозеф Плато опубликовал работу «Экспериментальные свойства жидкостей, обусловленные их молекулярными силами», в которой заложил основы для исследования пен, описав в своей работе, как образуются пены, какую они имеют структуру (рис. 1.а). До настоящего времени основные принципы, известные как законы Плато не были пересмотрены, к ним относятся следующие:

1) пены построены из тонких гладких пленок, имеющих постоянную среднюю кривизну;

2) ребрами пузырька в пене являются каналы, заполненные дисперсионной средой. Три плёнки, расположенные под углом 120° , сливаются в канал;

3) четыре канала сливаются в узел, образуя между собой углы около 109° .

С тех пор ежегодно количество публикаций, связанных с исследованием пен ежегодно растет, можно выделить несколько обзоров и монографий, посвященных физическим аспектам устойчивости пен [3-9], механизмах, вызывающих разрушение пен.

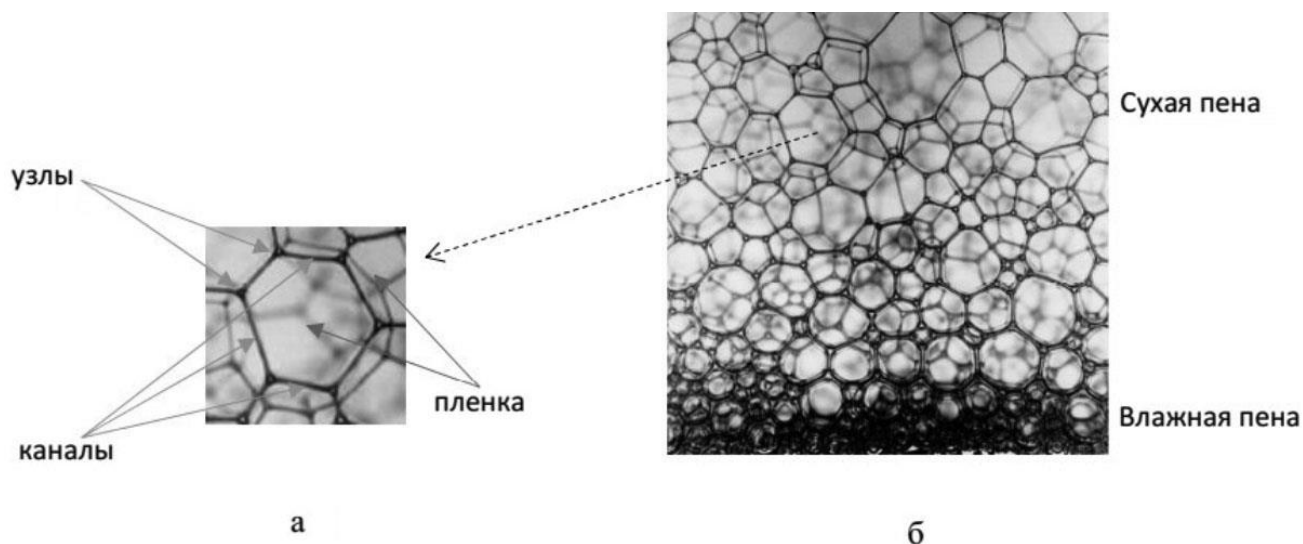


Рис. 1. Структура пены: а) строение пенной ячейки; б) светлая верхняя область – сухая пена, темная нижняя – влажная пена

С тех пор ежегодно количество публикаций, связанных с исследованием пен ежегодно растет, можно выделить несколько обзоров и монографий, посвященных физическим аспектам устойчивости пен [3-9], механизмах, вызывающих разрушение пен.

Основные механизмы дестабилизации пен

В научной литературе описано более 10 механизмов дестабилизации пен, рассмотрим основные из них: осушение, укрупнение

или коалесценция пузырьков, испарение жидкости из пленок.

1. Нарушение гидростатического равновесия (дренаж). Дренаж определяется как необратимый поток жидкости через пену, пленочные мембраны, границы плато под действием силы тяжести, ему противостоят капиллярные силы. Когда вода начинает стекать под действием силы тяжести, верх пены быстро становится сухим с содержанием жидкости менее 1%, в то время как нижняя часть остается влажной. В зарубежной литературе соответственно выделяют сухую и влажную пены (рис. 1б). Форма пузырьков начинает меняться под воздействием дренажа, переходя от сферической к многогранной (рис.1б). Этот механизм приводит к тому, что пузырьки пенного газа становятся менее стабильными и все более склонными к разрыву [10–13]. Соответственно, повысить стабильность пены можно за счет создания препятствий дренажу, например, если объемная вязкость жидкости относительно высока, если поверхностно-активное вещество способно придавать жесткость поверхностям пленки за счет образования высококонденсированных и нерастворимых монослоев [14].

2. Укрупнение (рис. 2а). Укрупнение относится к процессу роста и сжатия пузырьков внутри пены из-за диффузии газа между пузырьками. Хотя движущей силой укрупнения

пузырьков является давление Лапласа, множество факторов влияет на скорость этого процесса, среди них средний размер пузырьков, химический состав жидкости, коэффициент газопроводности, деформация пузырьков, содержание объемной доли жидкости, толщина тонкой пленки, начальный диаметр пузырька и поверхностное натяжение [12, 15, 16]. Еще одним важным фактором, влияющим на характерное время укрупнения пены, является природа используемого газа, его водорастворимость. Например, растворимость углекислого газа в воде выше, чем у азота. Следовательно, добавляя небольшие количества азота к пенам, полученным из двуокиси углерода, стабильность может быть увеличена за счет замедления процесса диффузии газа [17].

3. Коалесценция (слияние, рис. 2б) – механизм дестабилизации, при котором, как и при укрупнении происходит общее уменьшение количества пузырьков. Когда дренаж завершен и достигается равновесная объемная доля жидкости, пленки между пузырьками становятся очень тонкими (5–20 нм) они легко разрываются, что приводит к слиянию пузырьков [18, 19]. Этот процесс является резким, разрушение пены носит пороговый характер. Коалесценция не зависит от размера пузырьков, но на нее влияет природа поверхностно-активного вещества, и его концентрация.

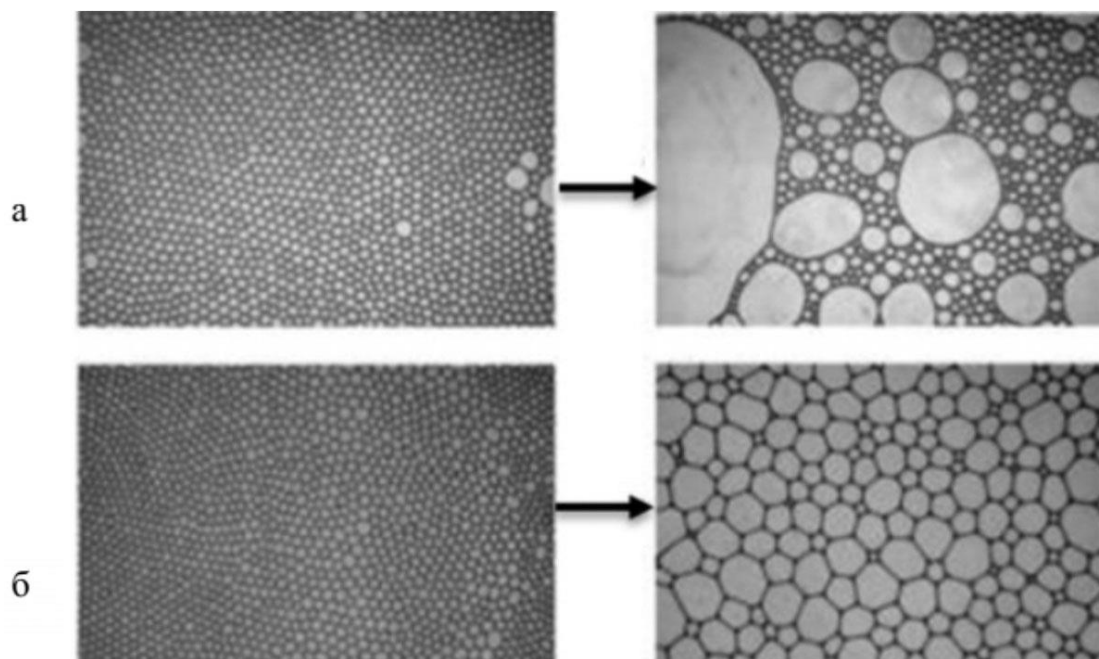


Рис. 2. Механизм дестабилизации пены:
а) слияние пенных ячеек б) укрупнение пенных ячеек [20]

4. Испарение жидкости из пленок. При испарении жидкости изменяется состав дисперсионной фазы, при достижении критического значения существование пленки становится невозможным. Пути устранения – повышение межчастичных взаимодействий между ПАВ и водой. В ряде работ была выявлена эмпирическая зависимость между устойчивостью пузырьков, концентрацией ПАВ и прочностью пленок. Установленные несимбатные зависимости объясняются с одной стороны гидратацией полярных групп молекул ПАВ, препятствующей движению жидкости под действием капиллярных сил и силы тяжести, с другой – снижающей силы, растягивающие пленку. Гидратированные молекулы способствуют образованию поверхностных слоев, увеличивающих стабильность пузырьков.

5. Механическое и термическое возмущение. Эффекты Марангони и Гиббса. При механическом или термическом возмущении происходит растяжение пленки. Тонкие пленки обладают способностью реагировать на локальные изменения толщины, вследствие чего происходит как бы «залечивание» ослабленного участка. Это происходит за счет увеличения (по сравнению с первоначальным) поверхностного натяжения ослабленного участка или частично компенсируется за счет диффузии ПАВ из объема раствора к поверхностному слою. Этот эффект самозалечивания зависит от природы ПАВ (активности), образующегося градиента концентрации ПАВ [21, 22].

Как отмечалось выше пена – это термодинамически нестабильная система, которая со временем имеет тенденцию к разрушению. Время жизни пен может изменяться от нескольких секунд до десятков лет. Для получения долгоживущих пен необходимо изменять свойства поверхности как за счет ПАВ, так и за счет различных стабилизаторов, влияющих на вышеперечисленные механизмы дестабилизации. Большинство пен получены на основе воды и ПАВ. Молекулы ПАВ амфифильны, т.е. имеют гидрофобную и гидрофильную часть. По причине выигрыша в энергии они располагаются в пленках на границах раздела фаз, причем водорастворимая часть всегда ориентирована к каналам, а органическая гидрофобная – в воздухе (рис. 3).

В случае анионных ПАВ образуется так называемый бислои, к которых анионные концы ПАВ направлены друг к другу, а их электростатическое отталкивание компенсируется расположенными между ними положительными противоионами. Таким образом за счет кулоновских сил стабилизируется пленки пены по толщине от 20–1000 нм [7].

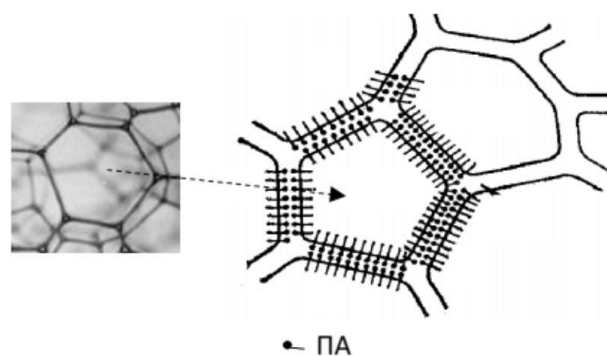


Рис. 3. Схема расположения ПАВ в узлах и каналах пенных ячеек

Считается, что для достижения высокой стабильности и качества пены с использованием поверхностно-активных веществ содержание поверхностно-активных веществ должно быть выше их ККМ (критическая концентрация мицеллообразования) [23]. Однако, это не всегда приемлемо, например, в пожаротушении для приготовления пены используется 6% концентрат (6 частей пенообразователя на 94 части воды), реже 3% или 1%.

Пены для пожаротушения классифицируются на пены низкой (ϕ^1 , от 5: 1 до 20: 1), средней (ϕ до 200: 1) и высокой кратности (ϕ до 1000: 1). Пену с низкой кратностью получают стволами СВП или пеносливными устройствами, а пены средней кратности получают генераторами ГПС, которые аэрирует пенообразователь для получения готовой пены. Эти пены можно распылять с расстояния до 10–20 м. Пены с высокой кратностью получают иначе, концентрат распыляется на сетку, фильеры, через которые втягивается или продувается воздух. В результате большого расширения эти пены слишком легкие, чтобы их можно было проецировать на какое-либо расстояние, и их наносят непосредственно на огонь. По мере увеличения степени расширения доля воды в готовой пене уменьшается, что отрицательно сказывается на термостойкости пены.

Оценка возможности стабилизации пен частицами.

Стабилизация пен частицами одно из самых перспективных направлений, связанных с улучшением основных характеристик пен. Частицы в отличие от ПАВ не являются амфифильными, и не влияют на поверхностное натяжение. Каков же механизм их влияния? В первую очередь – уменьшение общей по-

¹ ϕ - коэффициент расширения равен отношению объема готовой пены к объему исходного раствора пены.

верхностной энергии, частицы адсорбируются на границах раздела фаз [24–26]. При этом в отличие от процесса адсорбции ПАВ, адсорбция частиц необратима [27–30]. В предыдущих работах [24, 25] нами была показана важность для стабилизации пен краевого угла смачивания (θ). Наилучшие результаты показали пены с добавками частиц кремнезема с $\theta \approx 90^\circ$, т.е. частицы находились в большей степени в воздухе, чем в воде. Стабильность пены повышалась за счет того, что частицы, присутствующие в водной фазе, собираются на границах плато, замедляя дренаж воды из пленки. В работе [20] приведено уравнение, наглядно демонстрирующее корреляцию между энергией адсорбции частицы и θ :

$$E = \pi R^2 \gamma (1 - \cos \theta)^2, \quad (1)$$

где R – радиус частицы, γ – поверхностное натяжение, а θ – угол контакта частицы с жидкостью.

Действительно, максимальный выигрыш в энергии достигается при $\theta = 90^\circ$. В работе [31] показано, что краевой угол увеличивается с увеличением гидрофобности частиц.

Известно, что стабильность пены будет зависеть от гидрофобности частиц и их кон-

центрации. Последнее как было показано в работе [32] определяет взаимное расположение частиц в пленке. Это может быть слабоупакованный слой частиц (частицы расположены хаотично в пленке и не взаимодействуют друг с другом), плотно упакованный слой частиц (частицы расположены в непосредственной близости друг к другу), двойной слой плотноупакованный или слабоупакованный из кластеров частиц и т.д. При увеличении концентрации частиц зачастую возникают сложности с получением пены. Поэтому практически более привлекательны пены со слабоупакованным слоем частиц. Однако при этом не известно, как влияет размер частиц на устойчивость пен, при условии, что размер частиц не превышает толщину пленки, так как в противном случае добавление частиц приводит к пенотушению, вызывая перекрытие и осушение каналов или растяжение и истончение пленок. Для оценки влияния размеров наночастиц на устойчивость пен и огнетушащую способность, нами по стандартным методикам золь-гель синтеза были получены частицы кремнезема, в два раза отличающиеся по размерам друг от друга (40–100 нм и 140–270 нм). Частицы были охарактеризованы методом низкотемпературной сорбции азота (рис. 4 а, б, табл. 1).

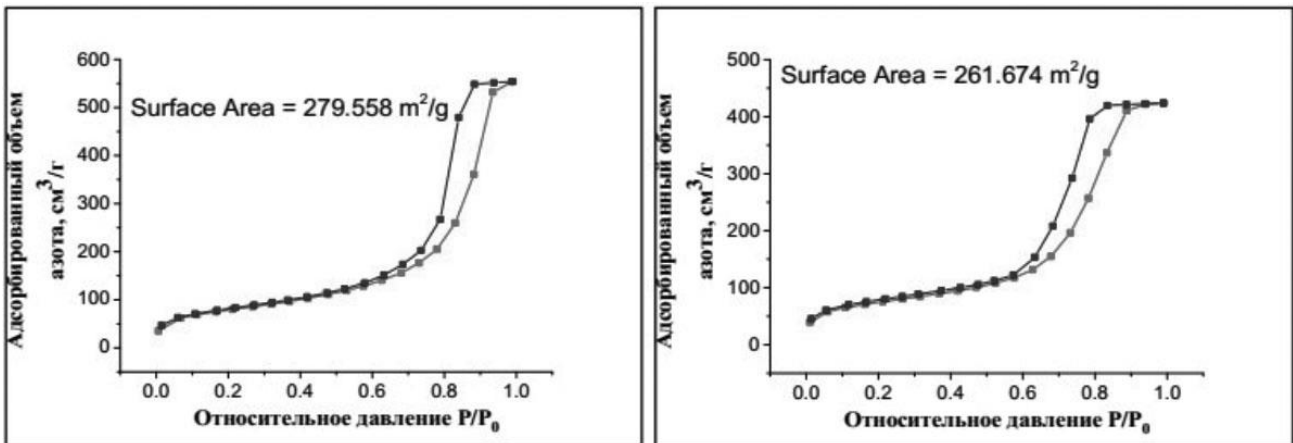


Рис. 4. Изотерма адсорбции азота кремнеземом с размером частиц а) 40-100 нм; б) 140-270 нм

Таблица 1. Основные текстурные параметры частиц оксидов кремния

Вещество	S уд м ² /г	Диаметр, нм		Объем пор см ³ /г
		Микро-пор	Мезо-пор	
SiO ₂ 40-100 нм	279,558	1,5	11,636	0,875
SiO ₂ 140-270 нм	261,674	-	7,384	0,706

Судя по виду изотерм, они относятся к изотермам II типа, данный вид изотерм присущ непористым или мезопористым адсорбентам и представляет свободную моно-полислойную адсорбцию. Судя по точкам начала прямолинейного среднего участка изотермы относительное давление, при котором завершается адсорбция монослоя, в двух исследуемых образцах достаточно хорошо совпадает. Вид петель гистерезиса (рис. 4) позволяет заключить, что они относятся к типу А, т.е. материалам с порами цилиндрической формы.

Таким образом, синтезированные частицы, имеют схожие текстурные характеристики, относятся к мезопористым адсорбентам, имеют узкое распределение мезо-пор, причем в более мелких частицах диаметр мезопор несколько выше, как и объем пор. В результате несмотря на разные размеры частиц они имеют близкие значения площади удельной поверхности.

Исследования влияния добавок на основные характеристики пен, вносимых в соот-

ношении 0,2 г на 1000 мл водного раствора пенообразователя, проводилось на испытательном стенде, описанном ранее [24, 25].

Для определения интенсивности разрушения воздушно-механической пены вследствие воздействия теплового потока от горячей жидкости был приготовлен рабочий раствор пенообразователя (ПО-6ЦТ). Затем при помощи генератора пены средней кратности (ГПП-1) получили пену средней кратности.

Далее отобрали часть полученной пены и взвесили, результат занесли в табл. 2 (m_0). Затем в центр поддона диаметром 0,2 м поместили ограничительное кольцо, аккуратно влили пену внутрь ограничительного кольца до уровня борта. Оставшуюся пену взвесили (m_1). В углубление по краю поддона аккуратно вливали горячую жидкость, поджигали и сразу включали секундомер (рис. 5).

Секундомер выключали после полного разрушения пены, а результат измерения $\tau_{\text{разрушения}}$ заносили в табл. 3.

Таблица 2. Результаты исследований влияния частиц SiO_2 на интенсивность разрушения пены

№ п/п	Состав водного раствора пенообразователя	m, кг	$\tau_{\text{разрушения}}$, с	$I_{\text{разрушения}}$
1	рабочий раствор ПО-6ЦТ	0,021	12,51	0,0535
2	рабочий раствор ПО-6ЦТ + SiO_2 40-100 нм	0,023	21,16	0,0346
3	рабочий раствор ПО-6ЦТ + SiO_2 140-270 нм	0,026	19,22	0,0431

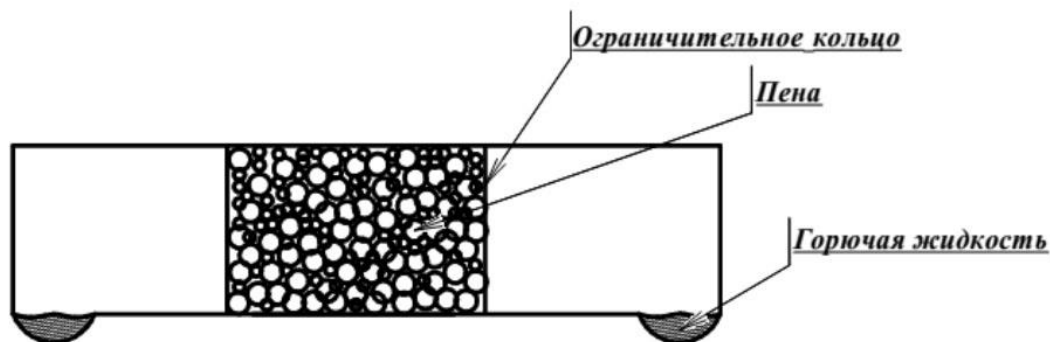


Рис. 5. Схема установки для исследования термической стойкости пены

Таблица 3. Результаты исследований влияния частиц SiO_2 на интенсивность разрушения пены при неполном покрытии

№ п/п	Состав водного раствора пенообразователя	Высота слоя пены, см	$\tau_{\text{разрушения}}$, с	$I_{\text{разрушения}}$, $\text{см}^2/\text{м}^2 \cdot \text{с}$
1	рабочий раствор ПО-6ЦТ	2	15,15	1,08
2	рабочий раствор ПО-6ЦТ + SiO_2 40-100 нм	2	23,06	0,71
3	рабочий раствор ПО-6ЦТ + SiO_2 140-270 нм	2	21,02	0,77

Интенсивность разрушения пены рассчитывали по формуле (2):

$$I_{\text{разрушения}} = \frac{m}{S_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{разрушения}}}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (2)$$

где: $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м^2 ; $\tau_{\text{разрушения}}$ – время полного разрушения пены, с; m – масса пены, кг.

Аналогичным образом исследовалась зависимость интенсивности разрушения пены в результате не полного покрывания горячей поверхности. Для этого в рабочую емкость прямоугольной формы ($0,35 \times 0,35 \times 0,06$ м) вносили горючую жидкость в количестве 100 мл.

Затем на поверхность горючей жидкости с помощью генератора пены средней кратности ГПП-1 подавали пену (2 см) таким образом, чтобы в углу противня остался небольшой участок открытой поверхности горючей жидкости.

На открытом участке подожгли жидкость и фиксировали время, в течение которого пламя распространится на всю поверхность жидкости и пена разрушится. Результат занесли в табл. 3.

Интенсивность разрушения пены рассчитывали по формуле (3):

$$I_{\text{разрушения}} = \frac{H_{\text{слоя}}}{S_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{разрушения}}}, \text{ см/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (3)$$

где: $H_{\text{слоя}}$ – высота слоя пены на поверхности горючей жидкости; $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м^2 ; $\tau_{\text{разрушения}}$ – время полного разрушения пены, с.

Проведенные исследования показали, что интенсивность разрушения пены снижается при внедрении в рабочий раствор пенообразователя частиц SiO_2 , причем влияние частиц с меньшим размером оказалось более существенным. Полученный результат нельзя считать однозначным, так как при одинаковом весе вносимых добавок наряду с укрупнением частиц изменялось и их количество. В случае более мелких частиц их фактическое количество было больше (рис. 6). Соответственно, благодаря большей численности мелкие частицы, вероятно, создают большее сопротивление истечению жидкости из каналов. В случае более крупных частиц, за счет их разреженного и еще менее упорядоченного расположения в каналах пены их эффект в стабилизацию пены оказывается меньше.

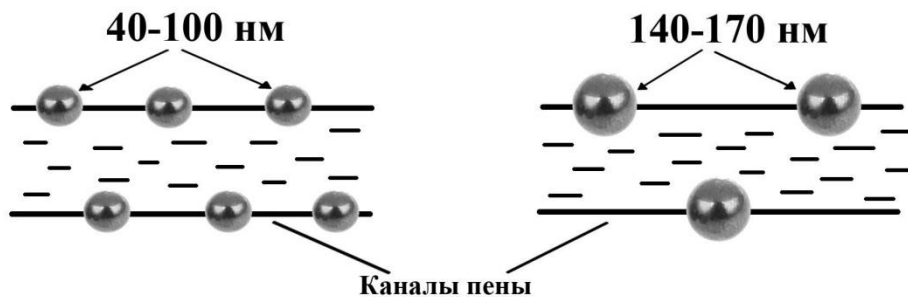


Рис. 6. Схема расположения частиц кремнезема различной дисперсности в каналах пены

Полученные результаты положили основу дальнейших исследований, с последующим ответом на вопрос с чем связана меньшая эффективность частиц кремнезема (140-270 нм) по сравнению с частицами (40-100 нм), с размерным фактором или с их численностью, планируется провести дополнительные испытания, в которых крупные частицы кремнезема планируются вноситься в соотношениях: 0.3 гр: 1000 мл; 0.4: гр: 1000 мл; 0.5: 1000 мл водного раствора пенообразователя.

Таким образом, в данной работе рассмотрены основные достижения последних лет, связанные с вопросами строения пен, факторах, влияющих на устойчивость пен. Установлено, что в качестве стабилизаторов пен для пожаротушения могут быть использованы твердые частицы, например, наночастицы кремнезема. Показано, что при схожих текстурных параметрах образцов стабилизаторов, значимым является как количество стабилизирующих частиц, так и их размер.

Список литературы/ References

1. Leonov A. N., Dechko M. M. Theory of design of foam ceramic filters for cleaning molten metals. *Refractories and Industrial Ceramics*, 1999, vol. 40, issue 11–12, pp. 537–542.
2. Davis S. *Fire Fighting Water: A Review of Fire Fighting Water Requirements A New Zealand Perspective*, 2000, 110 p.
3. Rio E. et al. Unusually stable liquid foams. *Advances in colloid and interface science*, 2014, issue 205, pp. 74–86.
4. Drenckhan W., Hutzler S. Structure and energy of liquid foams. *Advances in colloid and interface science*, 2015, vol. 224, pp. 1–16.
5. Drenckhan W., Saint-Jalmes A. The science of foaming. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2015, issue 222, pp. 228–259.
6. Weaire D. L., Hutzler S. *The physics of foams*. Oxford University Press, 2001, 246 p.
7. Cantat I. et al. *Foams: structure and dynamics*. OUP Oxford, 2013, 246 p.
8. Wang J., Nguyen A. V., Farrokhpay S. A critical review of the growth, drainage and collapse of foams. *Advances in colloid and interface science*, 2016, issue 228, pp. 55–70.
9. Zimnyakov D. A. et al. Growth/collapse kinetics of the surface bubbles in fresh constrained foams: transition to self-similar evolution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, issue 579, pp. 123693.
10. Koursari N. et al. Modelling of foamed emulsion drainage. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2020, pp. 124915.
11. Bhakta A., Ruckenstein E. Drainage of a standing foam. *Langmuir*, 1995, vol. 11, issue 5, pp. 1486–1492.
12. Hilgenfeldt S., Koehler S. A., Stone H. A. Dynamics of coarsening foams: accelerated and self-limiting drainage. *Physical review letters*, 2001, vol. 86, issue 20, pp. 4704.
13. Koursari N. et al. Foam drainage placed on a thin porous layer. *Soft matter*, 2019, vol. 15, issue 26, pp. 5331–5344.
14. Monnereau C., Vignes-Adler M., Kronberg B. Influence of gravity on foams. *Journal de Chimie Physique et de Physico-Chimie Biologique*, 1999, vol. 96, issue 6, pp. 958–967.
15. Lambert J. et al. Coarsening foams robustly reach a self-similar growth regime. *Physical review letters*, 2010, vol. 104, issue 24, pp. 248304.
16. Khakalo K. et al. Coarsening and mechanics in the bubble model for wet foams. *Physical Review E*, 2018, vol. 98, issue 1, pp. 012607.
17. Farajzadeh R., Vincent-Bonnieu S., Bourada Bourada N. Effect of gas permeability and solubility on foam. *Journal of Soft Matter*, 2014, vol. 2014, Article ID 145352, 7 p.
18. Langevin D. Coalescence in foams and emulsions: Similarities and differences. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2019, vol. 44, pp. 23–31.
19. Briceño-Ahumada Z. et al. On the stability of foams made with surfactant bilayer phases. *Soft matter*, 2016, vol. 12, issue 5, pp. 1459–1467.
20. Hill C., Eastoe J. Foams: From nature to industry. *Advances in colloid and interface science*, 2017, vol. 247, pp. 496–513.
21. Wang L., Yoon R. H. Effects of surface forces and film elasticity on foam stability. *International Journal of Mineral Processing*, 2008, vol. 85, issue 4, pp. 101–110.
22. Courbin L., Stone H. A. Impact, puncturing, and the self-healing of soap films. *Physics of Fluids*, 2006, vol. 18, issue 9, pp. 091105.
23. Derikvand Z., Riazi M. Experimental investigation of a novel foam formulation to improve foam quality. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, vol. 224, pp. 1311–1318.
24. Влияние добавок кремнеземов различной гидрофобности на устойчивость пен для пожаротушения / Н. Ш. Лебедева, Н. А. Таратанов, Е. В. Баринава [и др.] // Перспективные материалы. 2017. № 5. С. 45–55; Vlijanie dobavok kremnezemov razlichnoj gidrofobnosti na ustojchivost' pen dlja pozharotushenija [Effect of silica additives of different hydrophobicity on the stability of fire fighting foams] / N. Sh. Lebedeva, N. A. Taratanov, E. V. Barinova [et al.]. *Perspektivnye materialy*, 2017, issue 5, pp. 45–55.
25. Таратанов Н. А., Лебедева Н. Ш. Экологически безопасные добавки к огнетушащим средствам, повышающие устойчивость пены // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4(33). С. 61–73; Taratanov N. A., Lebedeva N. Sh. E'kologicheski bezopasny'e dobavki k ognetushashhim sredstvam, pov'yshayushhie ustojchivost' peny [Environmentally friendly additives to fire extinguishing agents that increase foam stability]. *Sovremennyy'e problemy` grazhdanskoj zashhity*, 2019, vol. 4(33), pp. 61–73.
26. Karakashev S. I. Hydrodynamics of foams. *Experiments in Fluids*, 2017, vol. 58, issue 8, 91 p.
27. Gauckler L. J. et al. Ultrastable particle-stabilized foams and emulsions. Patent: 8975301 USA, 2015.
28. Gonzenbach U. T. et al. Stabilization of foams with inorganic colloidal particles. *Langmuir*, 2006, vol. 22, issue 26, pp. 10983–10988.
29. Hunter T. N. et al. The role of particles in stabilising foams and emulsions. *Advances in*

colloid and interface science, 2008, vol. 137, issue 2, pp. 57–81.

30. Du Z. et al. Outstanding stability of particle-stabilized bubbles. *Langmuir*. 2003, vol. 19, issue 8, pp. 3106–3108.

31. Binks B. P., Horozov T. S. Aqueous foams stabilized solely by silica nanoparticles.

Angewandte Chemie International Edition, 2005, vol. 44, issue 24, pp. 3722–3725.

32. Kaptay G. Interfacial criteria for stabilization of liquid foams by solid particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2003, vol. 230, issues 1–3, pp. 67–80.

Лебедева Наталья Шамильевна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доктор химических наук, профессор кафедры

E-mail: nat.lebede2011@yandex.ru

Lebedeva Natalia Shamilevna

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

Russian Federation, Ivanovo

doctor of chemical sciences, professor head of department

E-mail: nat.lebede2011@yandex.ru

Таратанов Николай Александрович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент кафедры

E-mail: taratanov_n@mail.ru

Taratanov Nikolay Alexandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor,

E-mail: taratanov_n@mail.ru

УДК 614.841

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВСПУЧИВАЮЩЕГОСЯ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Н. М. ЛОРАН¹, О. Г. ЦИРКИНА¹, И. А. ПУСТОВАЛОВ²

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

²ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

E-mail: Lourant9@rambler.ru, ogtsirkina@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния углеродных наночастиц – астраленов, внедрённых в структуру вспучивающегося огнезащитного покрытия, на замедление процессов деструкции полимеров. Предложены рекомендации, направленные на выбор оптимальной концентрации введённых наночастиц.

Ключевые слова: пожарная безопасность, адгезия, астралены, полимерные материалы, огнезащитные вспучивающиеся покрытия.

IMPROVEMENT OF FIRE PROTECTIVE EFFICIENCY OF THE INTEGRATED FIRE PROTECTIVE COATING BY MODIFICATION OF CARBON NANOSTRUCTURES

N. M. LORAN¹, O. G. TSIRKINA¹, I. A. PUSTOVALOV²

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

²Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg University
of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Saint-Petersburg

E-mail: Lourant9@rambler.ru, ogtsirkina@mail.ru

The article presents the results of a study of the effect of carbon nanoparticles - astralenes, embedded in the structure of an intumescent fire retardant coating, on slowing down the processes of polymer destruction. Recommendations are proposed aimed at choosing the optimal concentration of the introduced nanoparticles.

Key words: fire safety, adhesion, astralenes, polymeric materials, intumescent fire retardant coatings.

Введение

Одним из способов повышения степени огнестойкости металлоконструкций на промышленных и нефтеперерабатывающих предприятиях является применение пассивных средств защиты – вспучивающихся огнезащитных покрытий (ВОП). Благодаря тонкослойному нанесению (до 3 мм), они не утяжеляют конструкции, а механизм вспучивания позволяет им достигать объема, в десятки раз превышающего из-

начальную толщину покрытия, в результате чего увеличивается время достижения предельного состояния металлоконструкции за счет образования на ее поверхности коксового слоя.

Вспучивающиеся огнезащитные покрытия применяются в различных климатических условиях и промышленных средах, где в течение длительного времени эксплуатации на них воздействует множество негативных факторов окружающей среды. Это неизбежно приводит к частичному или полному разрушению покрытия, что, в свою очередь, ведет к потере его огнезащитной эффективности. Для повышения экс-

платационных свойств полимерных покрытий от воздействия негативных факторов окружающей среды постоянно разрабатываются и применяются инновационные методы. К ним относится применение различных добавок, повышающих степень полимеризации составных компонентов покрытия, применение антиоксидантов, светостабилизаторов, нанесение финишного лакокрасочного слоя на поверхность вспучивающегося покрытия, модификация покрытий наночастицами и т.д.

Стремительно развивающимся способом улучшения эксплуатационных свойств и огнезащитной эффективности ВОП является внедрение углеродных наночастиц в структуру покрытия. Это позволяет предотвратить негативное влияние окружающей среды и агрессивных производственных факторов на наиболее уязвимые (неоднородные) участки покрытия. Поскольку поверхность ВОП имеет дефекты на молекулярном уровне, то в процессе эксплуатации на ней образуются микротрещины, сквозь которые в глубину покрытия проникает окислитель, ускоряя процессы деструкции. Достигая границы раздела фаз, они снижают адгезионную прочность, что приводит к отслаиванию от неё ВОП.

Внедрённые в структуру ВОП наночастицы предположительно повышают прочность покрытия и гладкость поверхностного слоя путём наноармирования, тем самым уменьшая количество микротрещин, которые приводит к повышению скорости окислительно-восстановительной деструкции [1], а также усиливают адгезионную прочность покрытия.

Таким образом, целью настоящей работы было исследование качественных характеристик ВОП, модифицированных астраленами.

Материалы и методы исследования

В экспериментальном исследовании влияния процесса окислительно-восстановительной деструкции на поверхностный слой ВОП, в качестве объекта исследования выступают: двухкомпонентный огнезащитный состав для металла марки «Термобарьер-2» от производителя «Огнехимзащита» на основе эпоксидных смол и аминного отвердителя, образующий на поверхности терморасширяющийся слой¹, и двухупаковочный эпоксидный огнезащитный органоразбавляемый состав вспучивающегося типа «DEF-521» от производителя «Промторг»². Оба состава модифицированы углеродными наночастицами – астраленами, с характеризующими парамет-

рами: диаметр 10...150 нм, средний размер пор 20...60 нм, полученными методом испарения графитовых анодов в электродуговом разряде [2], в концентрациях 0,25 об.% и 0,50 об.%. Модификация покрытия астраленами проводилась путем рассеивания наночастиц в структуре отвердителя источником ультразвука мощностью 1 кВт и частотой 50 Гц источника ультразвука в течение 30 мин.

Сущность методов исследования заключалась в изучении топологии агрегаций астраленов поверхностного слоя ВОП на атомно-силовом микроскопе (АСМ) «NT-MDT Integra Spectra». Также проводилась оценка влияния агрегаций астраленов, рассеянных в структуре отвердителя ВОП в концентрациях 0, 0,1, 0,05, и 0,025 масс.%, на эксплуатационные свойства покрытия. В качестве подложки использовалось предметное стекло.

Оценка адгезионной прочности модифицированных образцов ВОП с вариативной концентрацией астраленов и контрольных образцов покрытия проводилась на гидравлическом прессе ПГПП-78.

Результаты и их обсуждение

При исследовании топологии поверхностного слоя модифицированных образцов покрытий было выявлено образование кластеров, не наблюдавшихся в исходных образцах. Ниже представлены снимки поверхностного слоя образцов ВОП не модифицированного наноструктурами (рис. 1 а) и модифицированного в концентрации 0,025 масс.% (рис. 1 б) полученные при помощи атомно-силового микроскопа «NT-MDT Integra Spectra».

Как показано на рис. 2 а, поверхность исходного образца выглядит более гладкой. Перепады высот составляют не более 72,4 нм. В свою очередь, образование кластеров наночастиц на поверхностном слое модифицированного образца ВОП привело к появлению более выраженных перепадов высот – примерно 200 нм (рис. 2 б).

Появление кластеров наночастиц также выявлено на поверхности модифицированных образцов ВОП с концентрацией астраленов 0,05 и 0,1 масс%, однако, численные характеристики перепада высот на поверхности кластеров, относительно образца с 0,025 масс% возросли. Наибольшие перепады высот ВОП марки «Термобарьер-2» наблюдаются при внедрении астраленов с концентрацией 0,1 масс % – 529,6 нм, наименьшие у чистого образца – 72,4 нм. Стоит отметить, что данные перепады высот достигают высоких значений за счет образовавшихся нанокластеров, тогда как сама поверхность в местах образования кластеров становится более гладкой. При концентрации астраленов 0,025 масс% кластеры за-

¹ ТУ 20.30.22-007-30642285 «Огнезащитный атмосферостойкий состав», 2017. С. 8.

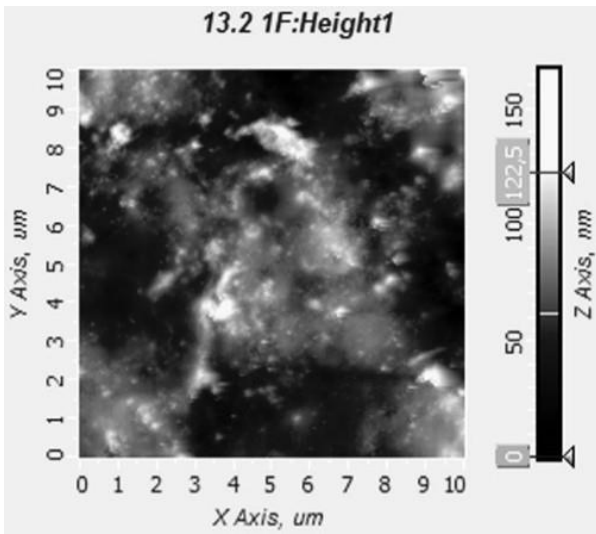
² ТУ 2310-003-09244502-14 «DEF-521», 2016. С. 4.

нимают большую часть поверхности покрытия, увеличивая гладкость поверхностного слоя в целом. С увеличением концентрации наночастиц происходит их агрегация, и кластеры уменьшаются в размерах.

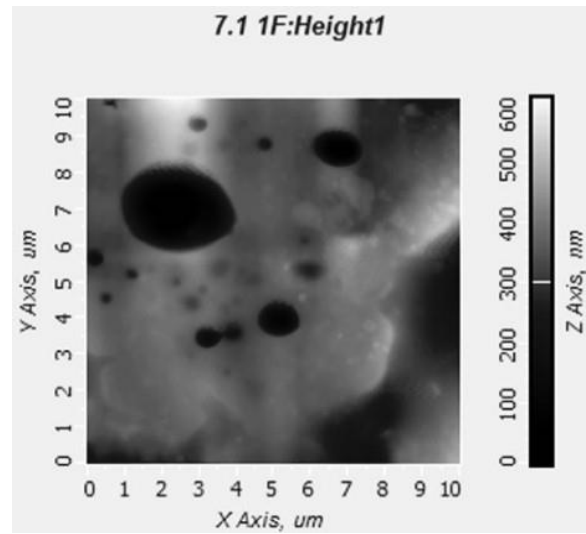
Схожие изменения эксплуатационных характеристик ВОП были выявлены при исследовании влияния наночастиц на огнезащитное покрытие «DEF-521» (рис. 3). Показатели перепада высот у исходного образца, относительно модифицированного, существенно

отличаются от данных «Термобарьер-2». Внедрение наночастиц в структуру «DEF-521» сделало поверхность более ровной и гладкой даже с учётом разрывов между кластерами (рис. 4).

При анализе ВОП марки «DEF-521» наибольшие перепады высот наблюдаются у исходного образца – 231,4 нм, а наименьшие у модифицированного с концентрацией 0,025 масс % астраленов – 46,00 нм.

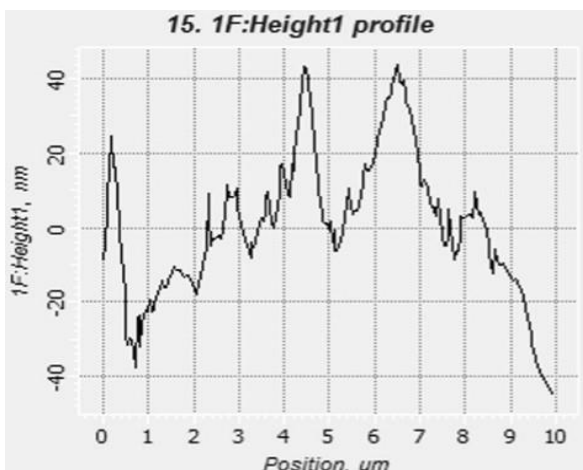


а

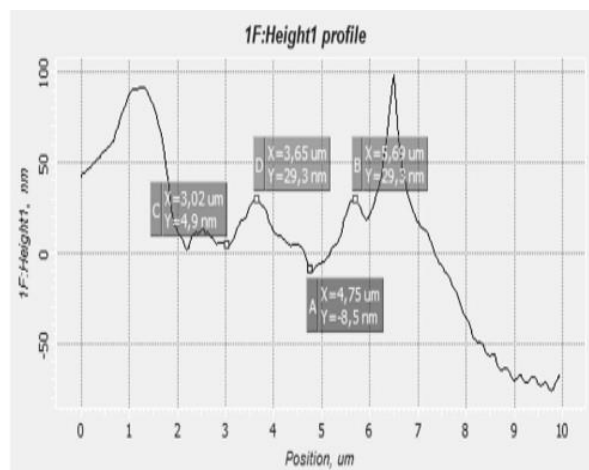


б

Рис. 1. АСМ-сканы поверхности покрытия «Термобарьер-2»: а) не модифицированного; б) модифицированного в концентрации 0,025 масс%



а



б

Рис. 2. Рельеф поверхности ВОП «Термобарьер-2»: а) не модифицированного; б) модифицированного в концентрации 0,025 масс %

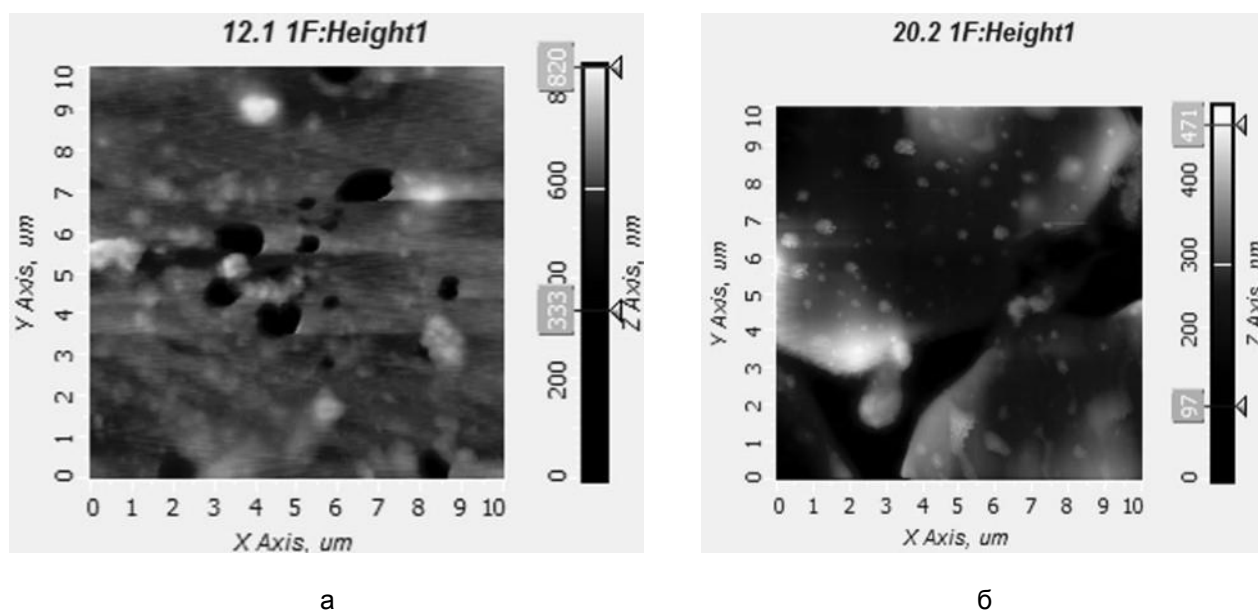


Рис. 3. АСМ-сканы поверхности покрытия ВОП «DEF-521»: а) не модифицированного; б) модифицированного в концентрации 0,025 масс%

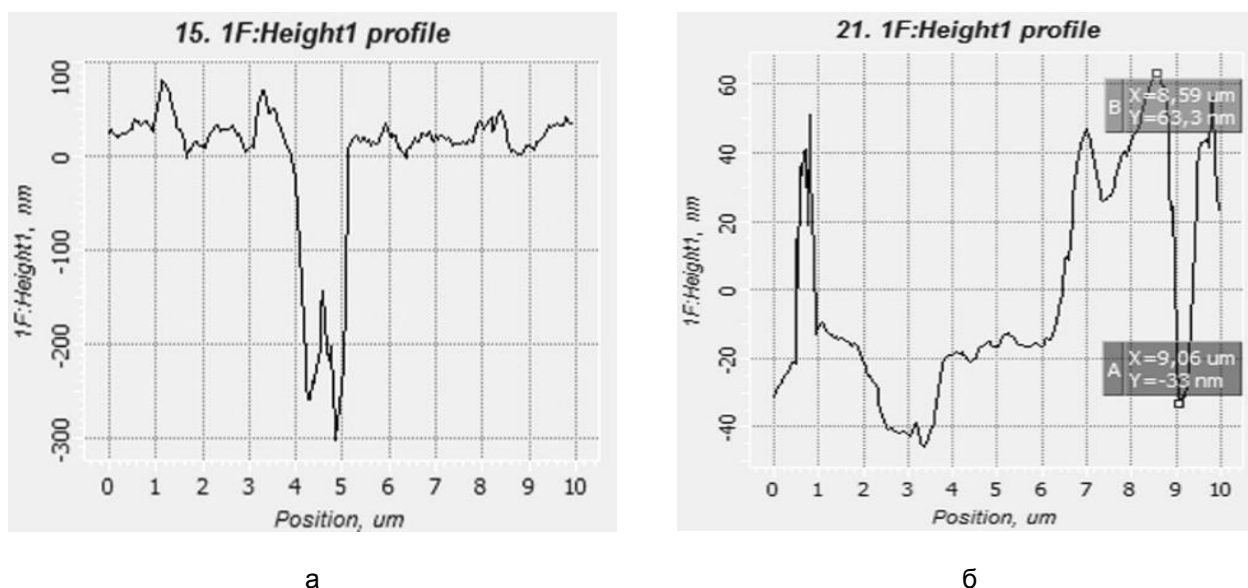


Рис. 4. Рельеф поверхности ВОП «DEF-521»: а) не модифицированного; б) модифицированного в концентрации 0,025 масс%

Изменения адгезионной прочности ВОП оценивались путем сравнения исходных образцов покрытий «Термобарьер-2» и «DEF-521» с модифицированными. В ходе исследования было выявлено, что все образцы имеют одинаковый показатель адгезионной прочности. Однако изменились значения когезионной прочности.

На рис. 5 и 6 представлены данные изменения когезионной прочности образцов. Ис-

следование модифицированных образцов покрытия марки «Термобарьер-2» показало наибольшую когезионную прочность при внедрении 0.05 масс.% астраленов в структуру ВОП, а наименьшую при 0.1 масс.% – 13,5 и 9,5 кг/см² соответственно. При этом все образцы покрытия марки «Термобарьер-2», модифицированные астраленами, показали улучшение когезионной прочности, в сравнении с исходным образцом.

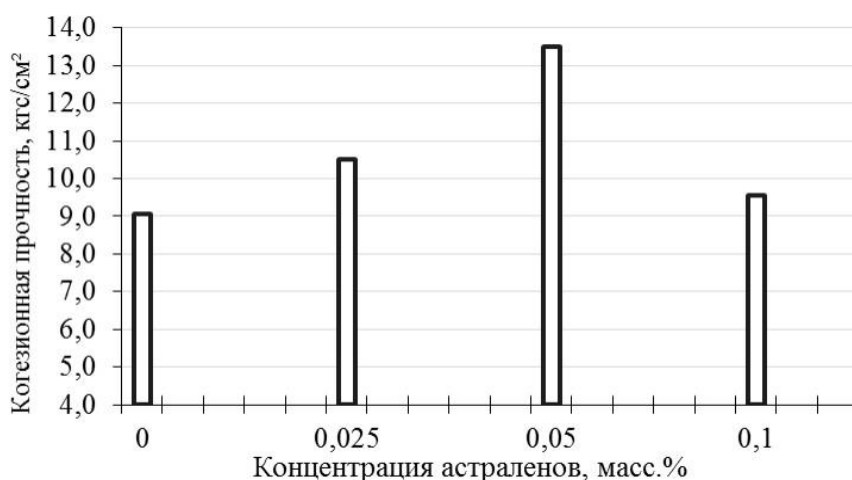


Рис. 5. Значения когезионной прочности ВОП «Термобарьер-2», исходного образца и модифицированного астраленами

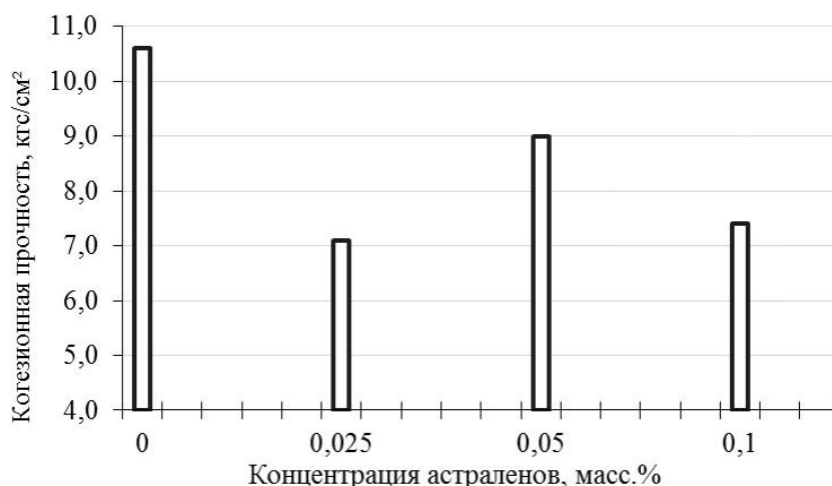


Рис. 6. Значения когезионной прочности ВОП «DEF-521», исходного образца и модифицированного астраленами

В отличие от ВОП марки «Термобарьер-2», введение наночастиц в состав покрытия «DEF-521» не показало улучшение его когезионной прочности. Наивысшую когезионную прочность показал исходный образец (не модифицированный наночастицами) – 10,5 кгс/см², а наихудшую – образец с концентрацией 0,025 масс % астраленов – 7,1 кгс/см² (рис. 6). Поскольку испытания образцов проводились в одинаковых условиях, можно сделать вывод, что выбор метода повышения огнезащитной эффективности ВОП необходимо проводить с учетом марки ВОП, исходя из физико-химических свойств состава.

Выводы

По результатам проведенных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Внедрение астраленов в структуру ВОП способно повысить когезионную прочность, но необходимо учитывать физико-химические свойства конкретного состава.

2. Внедрением небольших концентраций астраленов достигается гладкость поверхности покрытий, тогда как увеличение концентрации до 0,1 об.% приводит к образованию множественных агрегаций с высоким показателем перепада высот. Дальнейшие исследования по созданию технологий повышения огнезащитной эффективности вспучивающегося огнезащитного покрытия при эксплуатации в условиях воздействия негативных факторов окружающей среды должны включать в себя эксперименты по определению влияния наночастиц на термодеструкцию ВОП.

Список литературы

1. Crachs, microcracks and fracture in polymer structures: Formation, detection, automatic repair / Firas Awaja, Shenganan Zhang, Manoj Tripathi.[et al.]. *Progress in Materials Science*, 2016, vol 83. pp. 536–573. DOI:10.1016 / j.pmatsci.2016.07.007.
2. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A. I. Shames, E. A. Katz, A. M. Panich [et al.]. *Diamond and Related Materials*, 2009, vol. 8, issues 2-3, pp. 505–510. DOI: 10.1016/j.diamond.2008.10.056.
3. Parfenov V. A., Yudin I. A. Atomno-silovaya mikroskopiya i yeye primeneniya v nauke, tekhnike i restavratsii. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2015, issue 9, p. 61.
4. Калмагамбетова А. Ш., Шайкежан А. Ш. К механизму процесса в исследованиях огнезащитных композиционных материалов // Вестник НИИ стромпроекта. 2009. № 5.–6(22). С. 22–26.

Лоран Николай Михайлович

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

E-mail: Lourant9@rambler.ru

Loran Nikolay 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
graduate student

E-mail: Lourant9@rambler.ru

Циркина Ольга Германовна

ФГБОУ ВО 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

Пустовалов Илья Александрович

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

адъюнкт

E-mail: jivotjagina@mail.ru

References

1. Crachs, microcracks and fracture in polymer structures: Formation, detection, automatic repair / Firas Awaja, Shenganan Zhang, Manoj Tripathi.[et al.]. *Progress in Materials Science*, 2016, issue 83. pp. 536–573. DOI:10.1016 / j.pmatsci.2016.07.007.
2. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A. I. Shames, E. A. Katz, A. M. Panich [et al.]. *Diamond and Related Materials*, 2009, vol. 8, issues 2-3, pp. 505–510. DOI: 10.1016/j.diamond.2008.10.056.
3. Parfenov V. A., Yudin I. A. Atomno-silovaya mikroskopiya i yeye primeneniya v nauke, tekhnike i restavratsii. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2015, issue 9, p. 61.
4. Kalmagambetova A. Sh., Shaikhezhan A. Sh. K mekhanizmu processa v isledovaniyah ognezashchitnyh kompozicionnyh materialov [To the mechanism of the process in the study of fire retardant composite materials]. *Vestnik NII stromprojekta*, 2009, vol. 5–6(22), pp. 22–26.

Pustjvalov Iliya Alexandrovich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»»,
Russian Federation Saint-Petersburg

graduate student

E-mail: @mail.ru

УДК 614.841

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЧ/СВЧ-ОБОРУДОВАНИИ

А. Л. НИКИФОРОВ, О. Г. ЦИРКИНА, С. Н. УЛЬЕВА, В. Г. СПИРИДОНОВА

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

E-mail: anikiforoff@list.ru, ogtsirkina@mail.ru, jivotjagina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru

В статье рассмотрены наиболее вероятные случаи, способные привести к возникновению пожара при обработке полимерных материалов с использованием ВЧ/СВЧ-источников энергии. Проанализированы особенности, учитывающие пожароопасные характеристики горючей среды и возможные источники зажигания при обработке диэлектриков в ВЧ/СВЧ-поле. Предложена математическая модель для расчета изменения температуры во времени по толщине материала при его ВЧ/СВЧ-обработке, позволяющая более рационально организовать технологические процессы, связанные с нагревом полимерных материалов. Предложены мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности ВЧ/СВЧ-технологических процессов.

Ключевые слова: пожарная безопасность, ВЧ/СВЧ-источники энергии, тепловой нагрев, полимерные материалы, диэлектрик, математическая модель.

ENSURING FIRE SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR PROCESSING POLYMER MATERIALS HF/MICROWAVE EQUIPMENT

A. L. NIKIFOROV, O. G. TSIRKINA, S. N. ULIEVA, V. G. SPIRIDONOVA

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: anikiforoff@list.ru, ogtsirkina@mail.ru, jivotjagina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru

The article discusses the most likely cases that can lead to a fire when processing polymer materials using high-frequency/microwave energy sources. The features are analyzed that take into account the fire hazard characteristics of the combustible medium and possible ignition sources when processing dielectrics in an HF / microwave field. A mathematical model is proposed for calculating the change in temperature over time over the thickness of a material during its HF / microwave processing, which allows more rational organization of technological processes associated with heating polymer materials. Measures are proposed to reduce the fire hazard of HF / UHF technological processes.

Key words: fire safety, HF/microwave energy sources, thermal heating, polymer materials, dielectric, mathematical model.

Технологические процессы переработки и производства изделий из полимерных материалов в большинстве случаев предполагают использование тепловой энергии, как основного средства воздействия на материал. Основную массу таких процессов составляют сушка, вулканизация, желирование, сварка, плавление и формовка.

Наиболее распространенный метод нагрева предполагает конвективный подвод тепла от источника нагрева к обрабатываемому изделию. Обычно в качестве теплоносителя выступает воздух [1–3]. Основное преимущество этого метода – доступность и простота оборудования, возможность «мягкого» нагрева, что, однако, нивелируется рядом существенных недостатков – большим потреблением электроэнергии, высокими тепловыми потерями, инерционностью. Для обеспечения

качества готовой продукции, особенно если это касается обработки изделий, имеющих большую толщину, нагрев должен проводиться с низкой скоростью, что негативно сказывается на продолжительности технологического процесса.

Это требование объясняется тем, что при реализации конвективного нагрева в обрабатываемом материале возникают направленные противоположно градиенты температуры и концентрации перемещаемых компонентов, например, воды и других растворителей при сушке, пластификаторов при желировании и др. [4]. В случае сушки это сдерживает перемещение влаги к поверхности материала и увеличивает температурное сопротивление переносу удаляемого растворителя из объема обрабатываемого материала. При этом равномерность распределения температуры в объеме материала, в первую очередь, обусловлена его теплопроводностью и величиной температурного градиента. Желание сократить продолжительность технологического процесса за счет увеличения температуры теплоносителя приводит к интенсивному нагреву внешних слоев изделия и вызывает возникновение больших температурных градиентов в материале, что чаще всего отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах готовой продукции. В качестве примера можно привести процесс сушки древесины. Высокая температура сушки приводит к быстрому удалению влаги с поверхности изделия. Спустя некоторое время внутри материала создается избыточная концентрация влаги, которая, испаряясь, вырывается наружу через высохшие слои, вызывая их разрушение. Это сопровождается образованием трещин на поверхности и короблением изделия.

Еще одним методом подвода тепла к обрабатываемому изделию является контактный нагрев [1–4], который широко применяется для сварки и формовки изделий из термопластичных полимеров, для обработки текстильных и пленочных материалов. Отличительной особенностью контактной сушки являются высокие скорости фазовых превращений, и возникновение внутри обрабатываемого материала давления парогазовой смеси, что увеличивает интенсивность внутреннего переноса компонентов в несколько раз. Контактный метод нагрева может быть эффективно использован исключительно для материалов, имеющих малую толщину и неприемлем для продукции, имеющей большие габариты.

Для решения проблемы тепловой обработки изделий, имеющих большую толщину и изготовленных из материалов, обладающих низким показателем теплопроводности, ис-

пользуются нетрадиционные методы нагрева. В данном случае должно обеспечиваться основное требование - равномерный прогрев всего объема материала. К таким методам относится использование энергии высоких и сверхвысоких частот (ВЧ/СВЧ). Данный способ нагрева исключает понятие теплоносителя и носит название диэлектрического нагрева, т.к. может быть реализован исключительно для диэлектриков, имеющих полярное строение молекул, к которым относится большое количество полимерных материалов. Выделение тепла, в данном случае, связано с возникновением эффекта межмолекулярного трения, возникающего внутри обрабатываемого материала при помещении его в электромагнитное поле высокой или сверхвысокой частот [2–4]. Такой метод позволяет обеспечить высокоскоростной и равномерный нагрев обрабатываемого изделия при соблюдении требования к однородности его состава и структуры.

Любой технологический процесс, связанный с тепловой обработкой горючих материалов, основывается на соблюдении норм и правил, не допускающих возникновения пожара. При этом должны быть проанализированы все особенности, учитывающие как пожароопасные характеристики горючей среды, так и возможные источники зажигания.

Технологические процессы, связанные с тепловой обработкой и переработкой полимерных материалов и основанные на использовании энергии электромагнитных колебаний высокой и сверхвысокой частот, в качестве таких особенностей имеют:

- наличие больших объемов вовлеченных в технологический процесс горючих материалов, к которым относятся полимерные материалы, в частности, природные (древесина, хлопчатобумажные и льняные ткани, пряжа, исходное сырье); искусственные и композиционные, получаемые путем химической модификации и механической переработки природных полимеров (производные древесины и волокнообразующих полимеров); синтетические, получаемые в результате химического синтеза из газа или нефтепродуктов (полиэтилен, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и др.);

- наличие специфического электрооборудования, которое при нарушении технологических режимов может стать источником зажигания.

Основными причинами, способными привести к возникновению возможных пожаров в процессе реализации технологических процессов переработки полимерных материалов на ВЧ/СВЧ – оборудовании, являются:

- отраженная волна;
- электрический пробой;

- перегрев полимера;
- проблемы аппаратного характера.

Остановимся более подробно на рассмотрении указанных причин. Разобраться в их сути необходимо для выработки оптимальных решений, направленных на снижение риска возникновения пожаров.

Отраженная волна возникает вследствие рассогласования системы «генератор – нагрузка», что приводит к перегреву оборудования, например, магнетрона в СВЧ-установках. В данном случае необходимо помнить, что для устройств, работающих в области высоких и сверхвысоких частот, действуют законы электронной оптики. То есть эффективность использования электроэнергии будет складываться из двух составляющих – степени согласования системы «генератор – нагрузка» и уровня преобразования электрической энергии в тепловую непосредственно внутри материала. Степень согласования определяется соотношением волновых сопротивлений выходного каскада генератора, линии передачи и аппликатора – устройства, где и происходит обработка полимерного материала. Для ВЧ-устройств аппликатор представляет собой электрический конденсатор, в котором роль диэлектрика выполняет обрабатываемый материал. Для СВЧ-установок периодического действия аппликатором служит резонаторная камера, внутри которой размещается обрабатываемое изделие; в устройствах для непрерывной обработки обычно используют излучающие антенны или волноводы. Система считается согласованной, когда наблюдается равенство волновых сопротивлений всех элементов. При этом волновое сопротивление аппликатора рассчитывается с учетом загруженного в него обрабатываемого объекта. В случае рассогласования системы имеет место отражение части мощности от несогласованного элемента обратно к источнику питания. Это приводит к возникновению стоячих волн и явлению резонанса, что сопровождается выделением большого количества тепла и выходом из строя источника питания с высокой вероятностью возгорания последнего.

Степень согласования условно можно считать коэффициентом полезного действия (КПД) системы по показателю подводимой к аппликатору мощности. На практике контроль согласованности системы может осуществляться по значению коэффициента стоячей волны (КСВ), для измерения которого в линию связи включают измерительное устройство – КСВ-метр. Наилучшему согласованию системы соответствует КСВ = 1.

Следует отметить, что в ходе тепловой обработки происходит изменение фактора ди-

электрических потерь (K) обрабатываемого материала, что сказывается на величине волнового сопротивления аппликатора.

$$K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

где ε – диэлектрическая проницаемость; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Удаление влаги, пластификаторов, растворителей, а также увеличение температуры полимерного материала сказываются на показателе его диэлектрической проницаемости, что приводит к увеличению или уменьшению волнового сопротивления аппликатора и рассогласованию системы. Это создает опасную ситуацию, которая была описана ранее. Чтобы снизить риск возникновения пожара для данной ситуации можно рекомендовать следующие мероприятия:

- производить расчет параметров аппликатора, исходя не из начальных показателей диэлектрической проницаемости обрабатываемого материала, а по его усредненному значению – $\varepsilon_{\text{ср}} = (\varepsilon_{\text{вх}} + \varepsilon_{\text{вых}})/2$, где $\varepsilon_{\text{вх}}$ и $\varepsilon_{\text{вых}}$ значения диэлектрической проницаемости материала на входе и на выходе из аппликатора соответственно. В данном случае можно уйти от показателя КСВ = 1, осознанно рассогласовывая систему, то есть, снижая КПД установки, что, с экономической точки зрения, может показаться невыгодным. Однако КПД для способов ВЧ/СВЧ-нагрева достигает 85%, в то время как для конвективного и контактного не превышает 30-36%. Рассогласование системы может снизить КПД ВЧ/СВЧ-процесса до 50-60%, но такое решение с энергетической точки зрения будет более выгодно, чем использование традиционных методов тепловых обработок. При этом не стоит забывать о технологических преимуществах диэлектрического нагрева;

- применять автоматизированную систему поддержания КСВ на постоянном уровне с использованием подстроечного конденсатора с воздушным диэлектриком, подключаемым в электрическую цепь параллельно аппликатору. Согласование системы в этом случае осуществляется вручную или с помощью автоматики на основании постоянного контроля показателя КСВ. К достоинствам автоматизированной системы относится возможность использования оборудования для обработки полимеров с различными диэлектрическими характеристиками; к недостаткам – нестабильная работа основного оборудования на начальной стадии технологического процесса.

Еще одной причиной возникновения пожара может стать электрический пробой

диэлектрика (обрабатываемого полимера), возникающий в результате повышения напряжения U_3 на электродах аппликатора, либо за счет ухудшения диэлектрических характеристик самого материала вследствие его нагрева, а также при высокой вероятности образования углеродных мостиков – дефекта молекулярной структуры полимера. Следует отметить, что пробой, как правило, происходит при обработке листовых материалов, имеющих малую толщину (обычно не более 3 мм) – полимерных пленок или текстильных полотен. В данном случае профилактической мерой защиты от пожара является контроль напряжения на электродах и поддержание его на уровне, соответствующем требованию

$$E_3 = \frac{E_{м.проб}}{2},$$

где E_3 – допустимая напряженность поля в материале, [В/м]; $E_{м.проб}$ – напряженность поля, при которой происходит пробой диэлектрика, [В/м].

$$E_3 = \frac{U_3}{d_m},$$

где d_m – толщина обрабатываемого материала (работа без воздушного зазора), [м].

В данном случае важно знать, как будет изменяться показатель $E_{м.проб}$ для каждого конкретного полимера по мере его нагрева. Снизить данное явление для процессов непрерывной обработки можно за счет специальной конструкции аппликатора. Для стационарных процессов целесообразно использовать автоматизированные системы управления напряжением на электродах аппликатора.

С позиции оценки пожарной опасности при осуществлении технологических процессов переработки полимерных материалов на ВЧ/СВЧ-оборудовании наиболее серьезную проблему представляет перегрев обрабатываемого материала с его последующим воспламенением. Данный случай реализуется исключительно при обработке крупногабаритных изделий или, как показывает практика, листовых материалов имеющих толщину более 10 мм. К таким процессам относится сушка древесины, паковок пряжи, бобин с нитями, обезвоживание пищевых продуктов растительного и животного происхождения, вулканизация резин, желиро-

вание пластизолой и др. Такое явление происходит при увеличении продолжительности обработки, что приводит к возникновению больших градиентов температур относительно оси и поверхности обрабатываемого изделия. Большой перепад температур, в данном случае, обусловлен тем, что поверхность обрабатываемого изделия охлаждается в результате контакта с окружающей средой (воздухом), в то время как на оси материала идет интенсивное выделение тепла, отвод которого к поверхности затруднен вследствие низкого показателя теплопроводности полимерных материалов. Для того чтобы избежать возгорания обрабатываемого материала необходимо контролировать его температуру. При этом измерения должны проводиться в разных точках всего объема материала. Данная задача на реальных объектах оказывается практически невыполнимой, так как измерение температуры внутри объема материала, помещенного в ВЧ/СВЧ-поле, крайне сложно. Использование термопар и термометров для этих целей невозможно по причине того, что любой проводник, вносимый в электромагнитное поле, искажает его, создавая вокруг себя зоны повышенной напряженности. Это ведет к локальному перегреву материала в зоне замера температуры и ошибке в результатах. Нельзя использовать и бесконтактные методы (пирометры, тепловизоры), так как они не дают реальной картины нагрева, фиксируя лишь температуру на поверхности изделия. В связи с этим нами была разработана программа для расчета изменения температуры во времени по толщине материала.

В основу расчетов было положено уравнение теплопроводности для одномерного случая

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x, t),$$

которое решалось с учетом наличия внутреннего, равномерно-распределенного по объему обрабатываемого полимерного материала источника тепла. При решении было сделано допущение о неизменности начальных и граничных условий [5].

В результате решения уравнения теплопроводности применительно к нашим условиям было получено выражение

$$f(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \cdot \left(\cos \frac{\mu_n \cdot x}{\ell} + \frac{h \cdot \ell}{\mu_n} \sin \frac{\mu_n \cdot x}{\ell} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) X_n(x),$$

которое послужило алгоритмом для написания компьютерной программы расчета профиля температуры по толщине диэлектрика, помещенного в ВЧ-поле.

Максимальное время установления каждой тепловой моды равно

$$\tau_{\max} = \left(\frac{\ell}{\alpha \pi} \right)^2.$$

Разработанная программа учитывает теплофизические свойства материала (теплопроводность и температуропроводность), его геометрические параметры (толщину), что позволяет оценить эффективность нагрева любого диэлектрика. При проведении расчетов задаются параметры мощности, необходимой для эффективного нагрева объекта обработки.

В конечном виде можно получить профиль распределения температурных полей по толщине конкретного полимерного материала при заданном уровне мощности ВЧ-источника.

Общий вид распределения температуры по толщине обрабатываемого в ВЧ/СВЧ-поле полимера, обладающего фактором потерь $\sim 10^{-1}$, что соответствует большинству целлюлозосодержащих материалов (древесина, текстильные материалы), а также полярных полимеров (ПВХ, полиамид и др.), приведен на рис. 1.

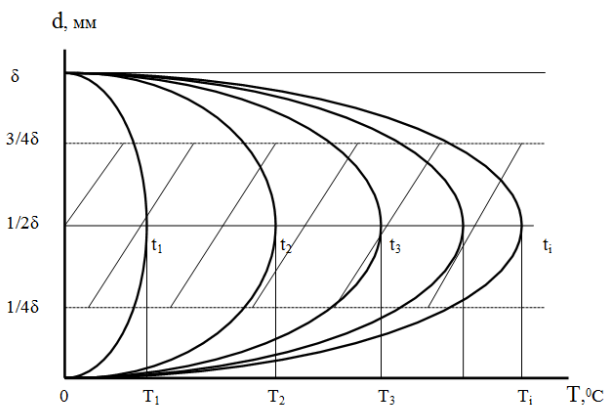


Рис. 1. Распределение температуры по толщине полимерного изделия, обрабатываемого на ВЧ/СВЧ-устройствах

При проведении расчетов особое внимание необходимо уделять оценке мощности источника ВЧ/СВЧ-энергии – $P_{\text{и}}$. Для достижения наиболее эффективного режима работы ВЧ/СВЧ-установок они должны иметь уровень выходной мощности соответствующий уровню

мощности, рассеиваемой в обрабатываемом полимерном материале – $P_{\text{м}}$ [6,7]. В свою очередь показатель $P_{\text{м}}$, являясь функцией фактора диэлектрических потерь (K) обрабатываемого материала, а также напряженности (E) и частоты (f) электромагнитного поля, может быть рассчитан по общеизвестной формуле [4]:

$$P_{\text{м}} = 0,55 \cdot 10^{-12} \cdot K \cdot f \cdot E^2 \text{ [Вт/м}^3\text{]}$$

При этом оптимальным будет соотношение: $P_{\text{и}} = 1,25P_{\text{м}}$, что было установлено нами на основании большого количества собственных экспериментальных результатов.

Таким образом, при расчете температуры полимерного материала, проходящего обработку в ВЧ/СВЧ полях, должна закладываться мощность, рассчитанная для каждого конкретного полимера с учетом величины фактора его диэлектрических потерь (K) на частоте работы генератора ($f_{\text{раб}}$).

Экспериментально установлено, что для исключения вероятности электрического пробоя и возникновения пожара напряженность (E) электромагнитного поля должна составлять 200-250 В/мм [8].

Адекватность предложенной модели подтверждается близкими значениями расчетных и экспериментальных результатов, что проиллюстрировано на рис. 2, где соотнесены мощности источников ВЧ-энергии, которые использовались на практике ($P_{\text{э}}$) и закладывались в модель при расчетах ($P_{\text{р}}$).

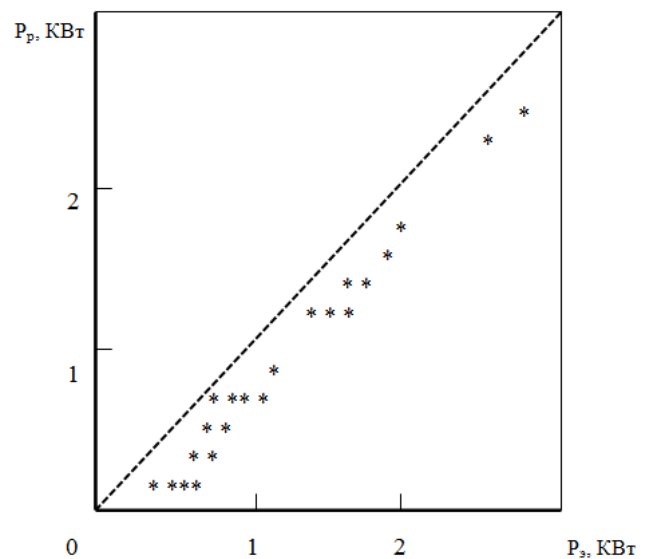


Рис. 2. Соотношение между измеренной и рассчитанной мощностями

Как уже было отмечено ранее, при разработке математической модели было сделано допущение – на протяжении всего процесса температура на поверхности материала остается неизменной, что не соответствует действительности. Чтобы достичь результатов, максимально соответствующих действительной картине нагрева листовых полимеров в модельных расчетах предлагается задавать толщину (δ) в два раза превышающую этот показатель для реального материала. На рис. 1 пунктирной линией показано сечение, соответствующее реальному материалу. При этом видно, что температура на поверхности тоже изменяется, и картина ее изменения соответствует процессу теплообмена с учетом реальных показателей теплопроводности по-

лимерных материалов и температуры окружающей среды (воздуха) 20–25⁰С. Этот факт позволяет отработать режим контроля температуры обрабатываемого материала с использованием аппаратных методов, а именно оценивать уровень максимального разогрева материала по косвенному показателю температуры на поверхности, замеряемой с помощью пирометра или тепловизора.

Таким образом, в представленной работе рассмотрены наиболее вероятные случаи, способные привести к возникновению пожара при обработке полимерных материалов с использованием ВЧ/СВЧ-источников энергии, и предложены мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности самих технологических процессов.

Список литературы

1. Побединский В. С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов. Иваново, 2000. 128 с.
2. Глуханов Н. П., Федорова И. Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1983. 160 с.
3. Княжевская Г. С., Фирсова М. Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. Л.: Машиностроение, 1989. 64 с.
4. Лыков А. В. Тепло и массообмен в процессах сушки. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1956. 518 с.
5. Никифоров А. Л. Использование энергии электромагнитных колебаний для интенсификации химико-текстильных процессов и создания на их основе энерго- и ресурсосберегающих технологий: дис. д-ра техн. наук. Иваново, 2004. 398 с.
6. Никифоров А. Л., Циркина О. Г. Измерение мощности при высокочастотной обработке текстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 1. С. 72–74.
7. Циркина О. Г., Никифоров А. Л., Удалов М. В. О согласовании системы «источник ВЧ/СВЧ-излучения – нагрузка» при реализации процессов диэлектрического нагрева полимерных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 6. С. 60–63.
8. Циркина О. Г., Никифоров А. Л. Влияние параметров поля токов высокой частоты на электрофизические характеристики тканей при реализации химико-текстильных процессов // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2014. Т. 23. № 1. С. 12–15.

References

1. Pobedinskij V. S. *Aktivirovanie processov otdelki tekstil'nyh materialov energiej elektromagnitnyh voln VCH, SVCH i UF diapazonov* [Activation of the processes of finishing textile materials with the energy of electromagnetic waves of the HF, microwave and UV ranges]. Ivanovo, 2000. 128 p.
2. Gluhanov N. P., Fedorova I. G. *Vysokochastotnyj nagrev dielektricheskikh materialov v mashinostroenii* [High-frequency heating of dielectric materials in mechanical engineering]. L.: Mashinostroenie, 1983. 160 p.
3. Knyazhevskaya G. S., Firsova M. G. *Vysokochastotnyj nagrev dielektricheskikh materialov* [High-frequency heating of dielectric materials]. L.: Mashinostroenie, 1989. 64 p.
4. Lykov A. V. *Teplo i massoobmen v processah sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. M.–L.: Gosenergoizdat, 1956, 518 p.
5. Nikiforov A. L. *Ispol'zovanie energii elektromagnitnyh kolebanij dlya intensivifikacii himiko-tekstil'nyh processov i sozdaniya na ih osnove energo i resursosberegayushchih tekhnologij*: dis. d-ra tekhn. nauk [The use of the energy of electromagnetic oscillations for the intensification of chemical and textile processes and the creation on their basis of energy and resource saving technologies: dis. Dr. tech. sciences]. Ivanovo, 2004, 398 p.
6. Nikiforov A. L., Cirkina O. G. *Izmerenie moshchnosti pri vysokochastotnoj obrabotke tekstil'nyh materialov* [Power measurement in high-frequency processing of textile materials]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2009, issue 1, pp. 72–74.
7. Cirkina O. G., Nikiforov A. L., Udalov M. V. *O soglasovanii sistemy «istochnik VCH/SVCH-izlucheniya – nagruzka» pri realizacii*

processov dielektricheskogo nagreva polimernyh materialov [On the coordination of the system «source of HF / microwave radiation - load» in the implementation of processes of dielectric heating of polymer materials]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2009, issue 6, pp. 60–63.

Никифоров Александр Леонидович

ФГБОУ ВО 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

Циркина Ольга Германовна

ФГБОУ ВО 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

Ульева Светлана Николаевна

ФГБОУ ВО 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

Спирidonова Вероника Гербертовна

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

адъюнкт очной формы обучения

E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru

Spiridonova Veronika Gerbertovna

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: nika.spiridonowa@yandex.ru

8. Cirкина O. G., Nikiforov A. L. Vliyanie parametrov polya tokov vysokoj chastoty na elektrofizicheskie harakteristiki tkanej pri realizacii himiko-tekstil'nyh processov [Influence of the field parameters of high-frequency currents on the electrophysical characteristics of tissues during the implementation of chemical-textile processes]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti*, 2014, vol. 23, issue 1, pp. 12–15.

УДК 541.64536.4, 51.72

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ СТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НЕКОТОРЫХ ФЕНИЛБЕНЗОАТОВ ПО СТРУКТУРЕ ИХ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Т. В. ПАШКОВА^{1,2}, А. И. АЛЕКСАНДРОВ², М. Г. ЕСИНА¹, О. В. ХОНГОРОВА¹

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

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

E-mail: pashtavi@yandex.ru, anival@yandex.ru, esina_mg@mail.ru, ov.khongorova08@yandex.ru

Использование защитных полимерных покрытий на элементах электрических цепей позволяет повысить пожарную безопасность последних. Жидкокристаллические соединения, способные полимеризоваться при ультрафиолетовом облучении, являются удобным материалом для формирования таких пленок. В работе возможность полимеризации пленок определяется на основе анализа структуры исследуемых веществ. Структура мезофаз нескольких гомологов ряда фениловых эфиров оксibenзойной кислоты исследована методом дифракции рентгеновских лучей.

Анализ дифракционных картин проводили с использованием хоземановской модели паракристалла. При определении параметров слоевых структур фенилбензоатов применялись структурное моделирование и дифракционные расчеты на моделях. Установлено, что все исследуемые соединения в температурном интервале существования жидкокристаллического состояния проявляют один тип мезоморфизма, образуя смектические F фазы. Молекулы всех изучаемых фенилбензоатов в мезофазе укладываются в бислои, в которых имеет место взаимопроникновение гибких концевых цепочек. Глубина проникновения оказалась различной (для МБ-9 $a=5.13 \text{ \AA}$, для МБ-12 $a=10.26 \text{ \AA}$, для МБ-16 $a=3.42 \text{ \AA}$). Угол наклона длинных осей молекул относительно нормали к плоскости смектического слоя практически одинаков для МБ-9 и МБ-16 и увеличивается для МБ-12. В структуре всех фенилбензоатов концевые группы молекул с кратными связями расположены на конце слоя, что позволяет молекулам соседних слоев «сшиваться», образуя полимерную пленку при ультрафиолетовом облучении. При этом увеличивается и температурный интервал существования мезоморфного состояния и, следовательно, область термической стабильности пленок на основе данных соединений.

Ключевые слова: фениловые эфиры оксibenзойной кислоты, жидкие кристаллы, структура, дифракция рентгеновских лучей.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF CREATING THERMALLY RESISTANT POLYMER FILMS OF SOME PHENYL BENZOATES BY THE STRUCTURE OF THEIR LOW-MOLECULAR COMPOUNDS TO ENSURE SAFETY IN TECHNOLOGICAL PROCESSES

T. V. PASHKOVA^{1,2}, A. I. ALEXANDROV², M. G. ESINA¹, O. V. KHONGOROVA¹

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

²Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State University»
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: pashtavi@yandex.ru, anival@yandex.ru, esina_mg@mail.ru, ov.khongorova08@yandex.ru

The use of protective polymer coatings on the elements of electrical circuits can improve the fire safety of the latter. Liquid crystal compounds capable of polymerizing under ultraviolet radiation are a convenient material for the formation of such films. In the work, the possibility of polymerization of films is deter-

mined based on the analysis of the structure of the studied substances. The structure of the mesophases of several homologues of a number of phenyl esters of hydroxybenzoic acid was studied by X-ray diffraction. The analysis of diffraction patterns was carried out using the Hoseman model of a paracrystal. In determining the parameters of the layer structures of phenyl benzoates, structural modeling and diffraction calculations using models were used. It was established that all the studied compounds in the temperature range of the existence of the liquid crystalline state exhibit one type of mesomorphism, forming smectic F phases. The molecules of all studied phenylbenzoates in the mesophase are stacked in bilayers in which the interpenetration of flexible end chains takes place. The penetration depth turned out to be different (for MB-9 $a = 5.13 \text{ \AA}$, for MB-12 $a = 10.26 \text{ \AA}$, for MB-16 $a = 3.42 \text{ \AA}$). The angle of inclination of the long axes of the molecules relative to the normal to the plane of the smectic layer is almost the same for MB-9 and MB-16 and increases for MB-12. In the structure of all phenylbenzoates, end groups of molecules with multiple bonds are located at the end of the layer, which allows molecules of neighboring layers to «crosslink», forming a polymer film under ultraviolet radiation. In this case, the temperature range of the existence of the mesomorphic state and, therefore, the region of thermal stability of the films based on these compounds are also increased.

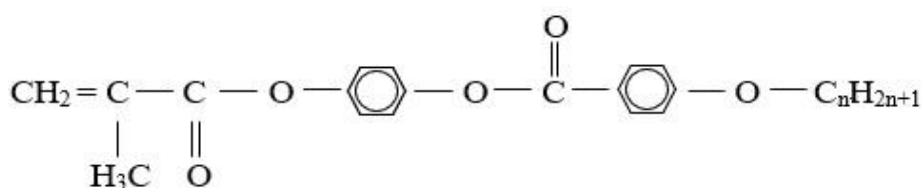
Key words: phenyl ethers of oxybenzoic acid, liquid crystals, structure, x-ray diffraction.

Способность компонентов электрических цепей работать при повышенных температурах является важным фактором обеспечения пожарной безопасности объектов. Снижение риска возникновения пожара, связанного с эксплуатацией электрооборудования, возможно при использовании качественных изолирующих материалов в конструкционных элементах электрических устройств. Для этих целей благодаря своей инертности широко используются полимерные материалы, в том числе и в виде тонких изолирующих пленок в полимерных конденсаторах. У полимерных пленок высокая электрическая прочность, достаточная термостойкость и механическая прочность, совместимость с жидкими диэлектриками, применяемыми для пропитки [1]. Жидкокри-

сталлические соединения являются удобным материалом для конструирования на их основе моно- и мультислойных пленок, способных полимеризоваться под действием ультрафиолетового излучения, образуя полимерные пленки [2, 3]. В данной работе предполагается исследовать возможность использования феноловых эфиров оксибензойных кислот для получения полимерных слоевых структур.

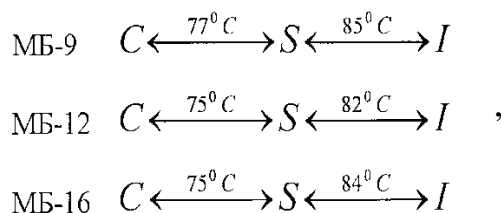
Объекты исследования и методика эксперимента

В работе исследована структура 9, 12 и 16 гомологов ряда 4-(2-метил-3-акрилоилокси)фениловые эфиры-4'-н-алкилоксибензойных кислот МБ- n (где $n=9, 12, 16$), структурная формула которых имеет следующий вид



Исследуемые соединения предоставлены старшим научным сотрудником Института нефтехимического синтеза имени А.В.Топчиева РАН Константиновым И.И. Присутствие двойной связи на одном из концов молекулы делает эти соединения перспектив-

ными для радикальной полимеризации. Проведенные ранее поляризационно микроскопические исследования показали, что только эти гомологи проявляют мезоморфизм. Схемы фазовых превращений исследуемых соединений имеют вид:



где С – кристаллическая фаза, S – смектическая, I – изотропная жидкость.

При этом и температурный интервал существования мезофазы, и температура просветления у изучаемых соединений близки [4]. Известно, что структура пленок, сформированных из жидкокристаллических фаз соединений на твердых подложках, наследует черты объемной фазы. Поэтому были проведены исследования структуры жидкокристаллических фаз данных соединений методом дифракции рентгеновских лучей. Рентгеновские исследования объемных образцов МБ-п проводились на установке УРС-2.0. Рассеяние ориентированными образцами регистрировалось на плоскую пленку с последующей обработкой рентгенограмм на автоматизированном денситометрическом комплексе. Во всех случаях использовалось фильтрованное (Ni-фильтр) излучение CuK_α . Образцы фениловых эфиров оксибензойной кислоты ориентировались электрическим полем при медленном охлаждении из изотропного расплава. Съёмка велась при включенном электрическом поле. На электроды ячейки подавалось напряжение 2.5 кВ, с помощью которого создавалось электрическое поле величиной 17,9 кВ/см. Пространственные характеристики молекул, необходимые при анализе данных рентгеновской дифракции и построении моделей структурной организации, определялись с помощью компьютерной программы молекулярного моделирования *Hyper Chemistry* (метод MM+, геометрическая оптимизация).

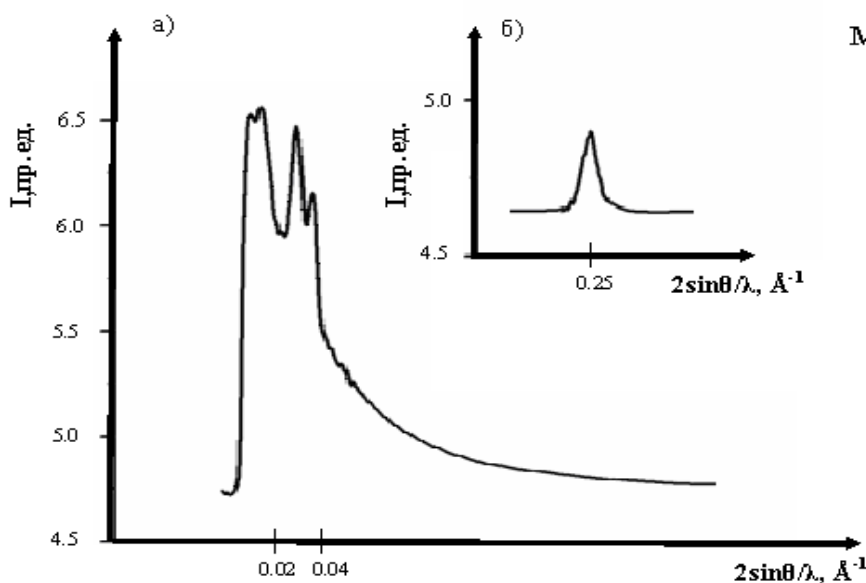
Дифракционные картины жидкокристаллических фаз анализировались с исполь-

зованием хоземановской модели паракристалла [5] (оценивалась величина трансляционных нарушений дальнего порядка g_1 в слоевой и внутрислойной укладках молекул). При анализе рентгеновского рассеяния слоевыми структурами применялись структурное моделирование и дифракционные расчеты на моделях. На основании экспериментально полученного периода строился структурообразующий фрагмент для слоевой структуры, а рассчитанная от нее дифракционная картина подгонялась к экспериментальной, путем варьирования подгоночными параметрами (наклоном молекул, азимутальным углом при наклоне, перекрытием концевых фрагментов молекул и их конформацией). Критерием минимальности отклонений теоретической дифракционной картины от экспериментальной служил фактор недостоверности (R-фактор) [6].

Результаты и обсуждение

В ходе проведенных рентгеновских исследований ориентированных электрическим полем веществ МБ-9, МБ-12 и МБ-16 в области температур, соответствующих мезоморфному состоянию, были получены дифракционные кривые, представленные на рис. 1.

Все исследуемые соединения обладают положительной диэлектрической анизотропией. На рентгенограммах присутствуют две пары узких максимумов в малых углах, являющихся, как показали расчеты периодов, порядками отражения, и пара экваториальных максимумов в широких углах. То есть полученные текстуррентгенограммы выглядят как типичные картины дифракции смектических фаз со структурными слоями.



МБ-9.

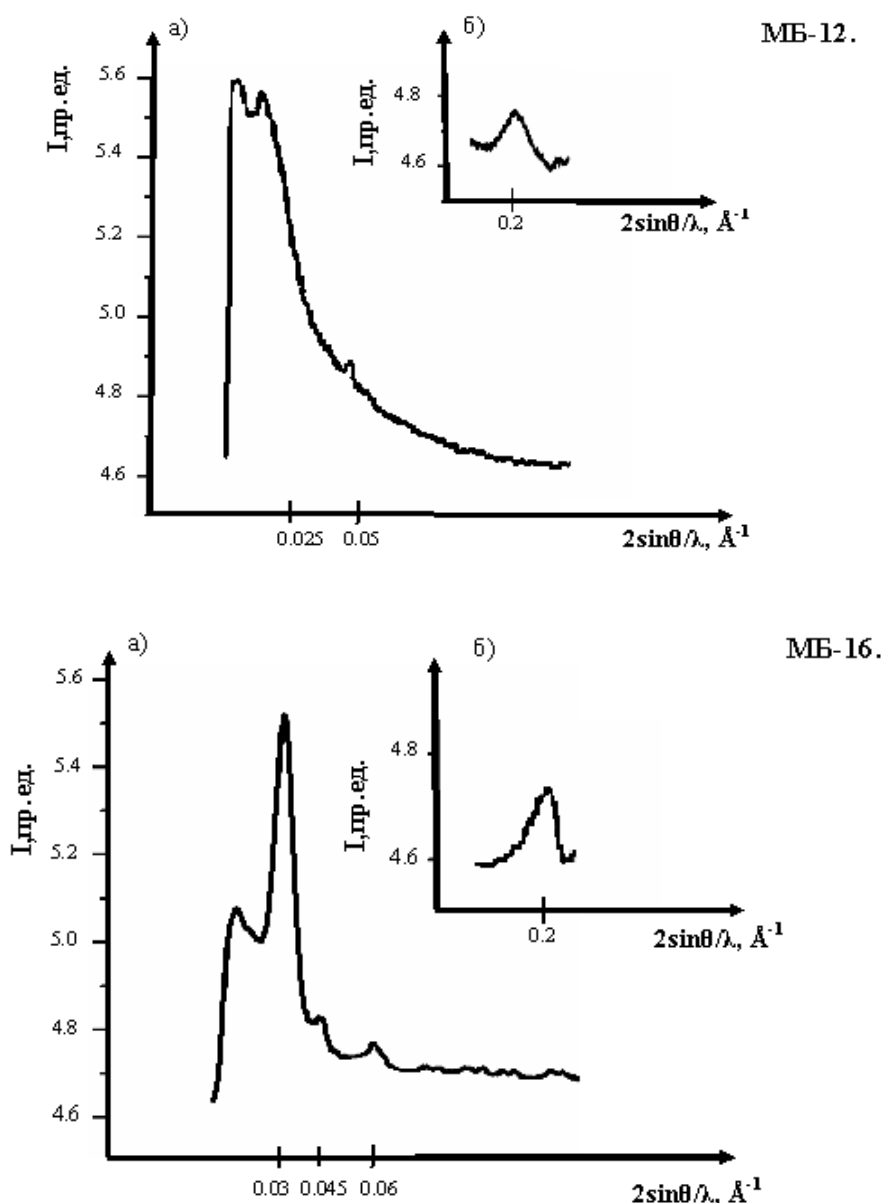


Рис. 1. Рентгеновские дифракционные кривые мезофаз фениловых эфиров оксибензойной кислоты МБ-9, МБ-12, МБ-16: а – вдоль меридиана, б – вдоль экватора текстуррентгенограммы

Из угловых положений максимумов на рентгенограммах определялись периоды, и оценивалась величина нарушений слоевой и внутрислойной укладки молекул, а также размеры кристаллитов (упорядоченных областей). Расчетные дифракционные и структурные параметры приведены в таблице.

Анализ структурных параметров показал, что смектические фазы исследуемых гомологов отличаются межслойными периодами. Наблюдаемый слоевой период для всех трех веществ превышает длину молекулы, но меньше удвоенного ее значения.

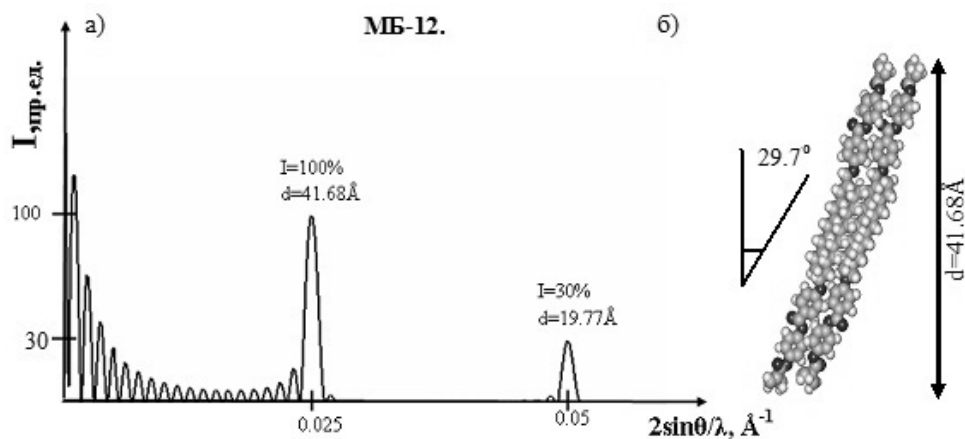
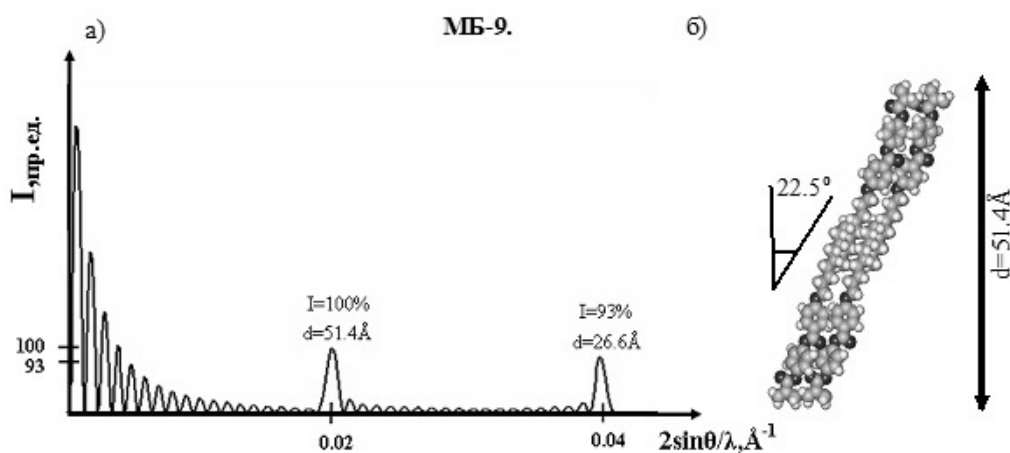
Учитывая тот факт, что нарушения внутрислойной укладки малы (для МБ-9 $g=6.4\%$, для МБ-12 $g=6.5\%$, для МБ-16 $g=6.6\%$), то данную фазу можно отнести к смектикам со структурными слоями. Этот вывод подтверждается и дифракционными расчетами на моделях. Наилучшее совпадение экспериментальных и расчетных кривых (по соотношению интенсивностей в малоугловых максимумах) получено для слоев с наклонным расположением молекул, имеющих вытянутую конформацию (рис. 2). Угол наклона составляет $22,5^\circ$ для МБ-9, $29,7^\circ$ для МБ-12 и 24° для МБ-16. В структуре мезофазы присутствуют

бислюи, в которых имеет место взаимопроникновение гибких концевых цепочек. Глубина проникновения оказалась различной (для МБ-9 $a=5.13 \text{ \AA}$, для МБ-12 $a=10.26 \text{ \AA}$, для МБ-16 $a=3.42 \text{ \AA}$). Величина R фактора при моделиро-

вании составила: для МБ-9 $R=2.5\%$, для МБ-12 $R=4.4\%$, для МБ-16 $R=3.1\%$. На основании приведенных расчетов жидкокристаллические фазы всех исследуемых соединений можно отнести к смектическому F типу.

Таблица. Дифракционные и структурные параметры исследуемых фенолбензоатов МБ-9, 12, 16

Вещество	Рефлекс	θ , град	d , \AA	$\pm \Delta d$, \AA	g , %	L , \AA
МБ-9	M_1	0.873	51.40	2.5	4.8	128.7
	M_2	1.670	26.60	1.0		
	Ξ	11.000	4.01	0.05	6.4	104.7
МБ-12	M_1	1.061	41.68	1.5	2.8	291.5
	M_2	2.250	19.77	1.0		
	Ξ	9.631	4.61	0.05	6.5	104.3
МБ-16	M_1	0.676	65.27	2.5	-	-
	M_2	1.300	33.82	1.0	5.4	234.5
	M_3	1.990	22.20	1.0		
	M_4	2.740	16.13	0.5		
	Ξ	10.260	4.33	0.05	6.6	104.5



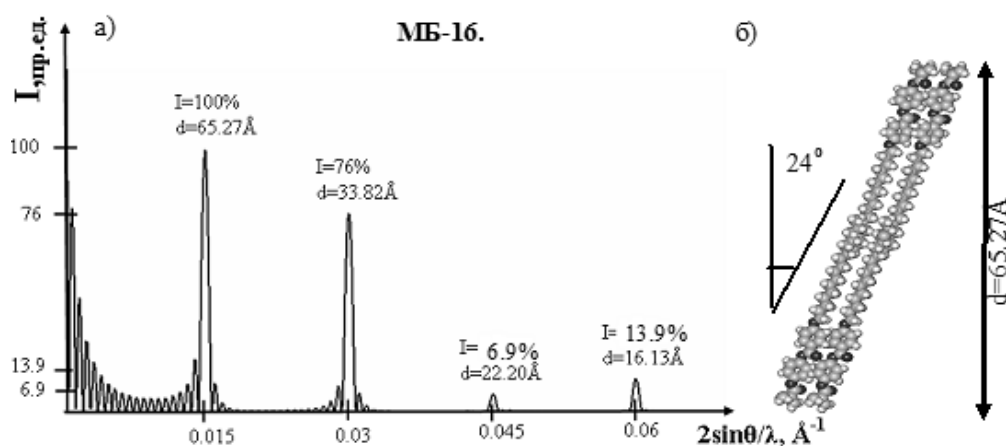


Рис. 2. Результаты дифракционных расчетов на моделях слоевой структуры исследуемых фенилбензоатов, а – теоретическая дифракция на слоевой структуре, б – модель укладки молекул в слое

Проведенные исследования структуры 9,12 и 16 гомологов фениловых эфиров оксибензойной кислоты МБ-9, МБ-12, МБ-16 показали, что:

- все исследуемые соединения в температурном интервале существования жидкокристаллического состояния проявляют один тип мезоморфизма, образуя смектические F фазы;

- молекулы всех изучаемых фенилбензоатов в мезофазе укладываются в бислои, в которых имеет место взаимопроникновение гибких концевых цепочек. Глубина проникновения оказалась различной (для МБ-9 $a=5.13 \text{ \AA}$, для МБ-12 $a=10.26 \text{ \AA}$, для МБ-16 $a=3.42 \text{ \AA}$). Угол наклона длинных осей молекул относительно нормали к плоскости смектического слоя практически одинаков для МБ-9 и МБ-16 и увеличивается для МБ-12;

- в структуре всех фенилбензоатов концевые группы молекул с кратными связями расположены на конце слоя, что позволяет молекулам соседних слоев «сшиваться», образуя полимерную пленку при ультрафиолетовом облучении. При этом увеличивается и температурный интервал существования мезоморфного состояния и, следовательно, область термической стабильности пленок на основе данных соединений. Следовательно, возможно использование исследуемых соединений для получения полимерных пленок с повышенной термостойкостью, которые могут применяться в качестве изолирующих материалов в конструктивных элементах электрических устройств с целью повышения их пожарной безопасности.

Список литературы

1. Черкасов В. Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок. М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. 377 с.

2. Study of the Monomer-Polymer Structural Transformations in LB Films at UV Polymerisation / A. I. Alexandrov, V. M. Dronov, T. V. Pashkova [et al.]. The Eighth International Conference on Organized Molecular Films, August 24-29, 1997, Asilomar California, U.S.A., Abstract & Program Booklet, 1-P-2

3. Александров А. И., Дронов В. М., Пашкова Т. В. УФ полимеризация и структурные исследования ЛБ пленок на основе мезогенных бифенилов и фенилбензоатов // Известия

Академии наук. Серия физическая 1998. № 8. С. 1662–1669.

4. Alexandrov A. I., Dronov V. M., Pashkova T. V. The Forming and Structure Study Monomeric and Polymeric Systems Liquid Crystal on the Base of Mesogenic Molecules. Abstracts 15th International Liquid Crystal Conference, 3-8 July, 1994, Budapest, Hungary, issue 1. P. 504

5. Bonart R., Hosemann R. Zur Analyse der Langperiodeninterferenzen. Zeitschrift für Elektrochemie. 1952, 64(219), pp. 314–321.

6. Структурные исследования мономер-полимерных превращений в объемных образцах и тонких пленках / А. И. Александров, Т. В. Пашкова, В. М. Дронов [и др.] // Известия

Академии наук. Серия физическая 1996. Т. 60. Вып. 4. С. 4–11

7. Шибяев В. П., Бобровский А. Ю. Жидкокристаллические полимеры: тенденции развития и фотоуправляемые материалы. Успехи химии. 2017. № 86(11). С. 1024–1072.

8. Пашкова Т. В., Александров А. И., Баженов А. С. Спектральные исследования УФ полимеризованных пленок красителя // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 107–111.

9. Пашкова Т. В., Александров А. И. Спектральные исследования тонких пленок на основе некоторых хиральных жидкокристаллических сополимеров // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 241–244.

References

1. Therkasov V. N., Kostreev N. P. *Pozarnaya bezopasnost elektroustanovok* [Fire safety of electrical installations]. Moscow, Akademiya GPS MTHS Rossii, 2002, 377 p.

2. Study of the Monomer-Polymer Structural Transformations in LB Films at UV Polymerization / A. I. Alexandrov, V. M. Dronov, T. V. Pashkova [et al.]. *The Eighth International Conference on Organized Molecular Films*, August 24–29, 1997, Asilomar California, U.S.A., Abstract & Program Booklet, 1-P-2

3. Alexandrov A. I., Dronov V. M., Pashkova T. V. UF-polimerizacia I strukturnie prevrasenia LB plenok na osnove mezogennih bifenilov I fenilbenzoatov [UV polymerization and structural studies of LB films based on mesogenic biphenyls and phenyl benzoates]. *Izvestija Akademii Nauk, Serija phizicheskaya*, 1996, issue 8, pp. 1662–1669.

4. Alexandrov A. I., Dronov V. M., Pashkova T. V. The Forming and Structure Study Monomeric and Polymeric Systems Liquid Crystal on the Base of Mesogenic Molecules. *Abstracts 15th International Liquid Crystal Conference*, 3–8 July, 1994, Budapest, Hungary, issue 1. P. 504

5. Bonart R., Hosemann R. Zur Analuse der Langperiodeninterferenzen. *Zeitschrift fur Elektrochemie*, 1952, vol. 64(219), pp. 314–321.

6. Strukturnie issledovaniya monomer-polimernih prevrasenii v obemnih obraszah I tonkih plenkah [Structural studies of monomer-polymer transformations in bulk samples and thin films] / A. I. Alexandrov, T. V. Pashkova, V. M. Dronov [et al.]. *Izvestija Akademii Nauk. Serija phizicheskaya*, 1996, vol. 60, issue 4. pp. 4–11.

7. Shibaev V. P. Bobrovskiy A. Yu. Jidkokristallitheskie polimeri: tendenzii rasvitiya I fotoupravlyaemie materiali [Liquid crystal polymers: development trends and photocontrolled materials]. *Uspehi himii*, 2017, vol. 86(11), pp. 1024–1072.

8. Pashkova T. V., Aleksandrov A. I., Bazenov A. S. Spektralnie issledovaniya UF polimerizovannih plenok krasitelya [Spectral studies of UV polymerized dye films]. *Aktualnie voprosi estestvoznaniya. Sbornik materialov IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozarno-spasatel'naya akademiya GPS MTHS Rossii, 2019, pp. 107–111.

9. Pashkova T. V., Aleksandrov A. I. Spektralnie issledovaniya tonkih plenok na osnove nekotoryh hiralnih zidkokristallitheskikh sopolimero [Spectral studies of thin films based on some chiral liquid crystal copolymers]. *Pozarnaya I avariinaya bezopasnost: sbornik materialov XIV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii, posvyatsennoi 370 godovtsine obrazovaniya pozarnoi ohrani Rossii*. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozarno-spasatel'naya akademiya GPS MTHS Rossii, 2019, pp. 241–244.

Пашкова Тамара Викторовна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры

E-mail: pashtavi@yandex.ru

Pashkova Tamara Viktorovna

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

Russian Federation, Ivanovo
Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State University»
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: pashtavi@yandex.ru

Александров Анатолий Иванович
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой
E-mail: anival@yandex.ru
Alexandrov Anatoly Ivanovith
Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State University»
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: anival@yandex.ru

Есина Марина Геннадьевна
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Доцент, кандидат технических наук, доцент
E-mail: esina_mg@mail.ru
Esina Marina Gennad'evna
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
docent, candidate of technical sciences, docent
E-mail: esina_mg@mail.ru

Хонгорова Ольга Викторовна
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: ov.khongorova08@yandex.ru
Khongorova Olga Viktorovna
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of physical and mathematical sciences, docent
E-mail: ov.khongorova08@yandex.ru

УДК 66.021.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОГО ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ ОСНОВЫ СИНТЕТИЧЕСКОЙ КОЖИ ПРОМЫШЛЕННЫМ СПОСОБОМ

А. А. ПОКРОВСКИЙ, Н. А. КРОПОТОВА

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: aapokrovsky@mail.ru, nzhirova@yandex.ru

Данная статья посвящена проблеме изучения кинетики удаления органических растворителей из нетканого материала в процессе производства аналога натуральной кожи. Синтетические материалы все больше внедряются в нашу жизнь, проникая в различные сферы деятельности. Процесс вытеснения натуральной кожи с рынка обоснован рядом факторов. По внешнему виду синтетические кожи практически не отличаются от высококачественных эластичных натуральных кож и замш, а по комплексу физико-механических и гигиенических показателей близки или даже превосходят натуральные материалы. Авторами статьи на основе экспериментальных исследований предложен высокоэффективный экологически и пожаробезопасный способ удаления растворителя в токе перегретого водяного пара. С целью определения степени удаления растворителя, скорости протекания процесса были проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение кинетики данного процесса. Процесс удаления органического растворителя перегретым водяным паром описывается как процесс конвективной сушки материала. На основе проведенных исследований численным методом были рассчитаны коэффициенты тепло- и массоотдачи для всех исследованных нами режимов обработки основы синтетической кожи водяным паром. Полученные на данном этапе работы результаты могут использоваться для составления математической модели процесса сушки нетканых капиллярно-пористых материалов и разработки конструкции сушильного аппарата.

Ключевые слова: нетканый материал, синтетическая кожа, кинетика сушки, органические растворители, экстракция матричного компонента, лабораторная установка, метод удаления растворителя, водяной пар.

INVESTIGATION OF A FIREPROOF PROCESS FOR REMOVING A SOLVENT FROM A BASE OF SYNTHETIC LEATHER BY AN INDUSTRIAL METHOD

A. A. POKROVSKY, N. A. KROPOTOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

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

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: aapokrovsky@mail.ru, nzhirova@yandex.ru

This article is devoted to the problem of studying the kinetics of the removal of organic solvents from nonwoven fabrics during the production of an analogue of natural leather. Synthetic materials are increasingly being introduced into our lives, penetrating into various fields of activity. The process of ousting genuine leather from the market is based on a number of factors. In appearance, synthetic leathers practically do not differ from high-quality elastic natural leathers and suede's, and in terms of the complex of physical, mechanical and hygienic indicators, they are close or even superior to natural materials. The authors of the article, on the basis of experimental studies, proposed a highly efficient ecologically and fire-safe method for removing a solvent in a stream of superheated water vapor. In order to determine the degree of solvent removal, the rate of the process, experimental studies were carried out aimed at studying the kinetics of this process. The process of removing the organic solvent by superheated steam is described as a convective drying process for the material. On the basis of the studies carried out by the numerical method, the coefficients of heat and mass transfer were calculated for all studied modes of processing the base of synthetic leather with

water vapor. The results obtained at this stage of the work can be used to compile a mathematical model of the drying process of nonwoven capillary-porous materials and to develop the design of the drying apparatus.

Key words: non-woven fabric, synthetic leather, drying kinetics, organic solvents, extraction of the matrix component, laboratory installation, solvent removal method, water vapor.

Натуральная кожа состоит из тончайших коллагеновых волокон (микрофибрилл) и обладает системой взаимосвязанных микро- и макропор. Зарубежными производителями проводились исследования по разработке полимерных материалов, которые обладают подобными для натуральной кожи структурой и свойствами. Актуальность данных исследований возникла с дефицитом на рынке натуральной кожи, объем которой, составлял лишь 60 % от требуемого уровня. Поэтому целью исследователей было создание материалов близких или превосходящих по свойствам натуральные кожи. К таким материалам относятся так называемые «дышащие» (пропускающие пар и воздух) синтетические кожи на нетканых основах из тонких химических волокон. Поэтому с разработкой способа получения волокон матрично-фибриллярного строения явилась возможность создания принципиально новых для мирового сообщества материалов, которые аналогичны по свойствам к натуральным продуктам, но полностью синтезированы.

Первыми производителями таких материалов были японские фирмы, которые запустили производство синтетических кож и на протяжении некоторого периода времени являлись монопольными производителями данного вида материалов. Созданные данными фирмами материалы обладали физико-механическими свойствами близкими к свойствам натуральной кожи. Синтетическая кожа Alcantara выпускалась японскими фирмами «Konebo», «Toraу» и «Kuraraу». По лицензиям данных фирм было организовано производство искусственной замши Belleseime в Италии, а затем в Германии. Все выпускаемые кожи имели фибриллярно-пористую структуру, которая сопоставима с натуральным продуктом, а эксплуатационные и органолептические свойства синтетических кож очень близки к свойствам натуральных кож. При этом технологические и технические детали процесса получения таких материалов не были открыты заинтересованной публике по производству подобных материалов и особенностям их синтеза. В нашей стране проводились исследования, направленные на создание аналогичных материалов.

Технологические этапы синтеза кож можно для широкого производства можно представить следующим образом:

- заготовка материала, не имеющего ничего общего с тканями, включает композиционные волокна типа матрица-фибрилла;
- обработка материала полиэфируретановым раствором и последующее фазовое разделение для структурообразования;
- промывка большим количеством воды полученной кожи методом синтеза от ненужного присутствия диметилформамида и последующая сушка синтетического материала;
- выделение матричного полимера композиционного волокна методом экстракции с использованием органических растворителей;
- удаление растворителя из кожи и последующая ее сушка;
- придание полученному материалу свойств, идентичных естественным материалам: двоение (шпальтование), обработка поверхности за счет придания ворса или глянцевой поверхности (ворсование и шлифование соответственно);
- формирование итогового слоя (отделка).

Для создания синтетической кожи использовался нетканый материал, включающий в себя матрицу, в качестве которой был выбран 70 % полиэтилен низкой плотности, и фибриллы - 30% полиэтилентерефталата. Материал пропитывался сополимером – полиэфируретановым раствором доступной марки «Sanpren-LQ-18E». Основным объемом порового пространства формировался на этапе образования структуры полиэфируретановой матрицы за счет коагуляции – слипания частиц дисперсной фазы. Для этого из полотна методом избирательной экстракции органическим растворителем удалялся полиэтилен. На рис. 1 приведено схематическое изображение физической модели преобразования структуры синтезированной кожи в процессе выделения полиэтилена. Физико-химической особенностью данного процесса является изменение количества пор, малого и крупного размера (микро- и макропор соответственно). В экстрагированной коже выявлено три типа пор: макропоры, которые заполняли свой объем жидкостью; поры

среднего размера, которые заполняли свой объем за малый промежуток времени, причем стоит отметить постоянное снижение скорости; микропоры, которые заполняют объем с постоянной скоростью, но длительное время.

Одной из заключительных этапов синтеза и обработки кожи является удаление растворителя органической природы, который оставался в материале после экстракционного удаления полиэтилена. Начальные опыты, позволяющие идентифицировать каждый этап, показали, что удаление растворителя можно провести несколькими способами. В первом случае органический растворитель можно удалить путем вымывания органического растворителя из полученной основы синтетической кожи большим объемом воды, а затем высушить материал. Данный способ является продолжительным по времени и приводит к загрязнению большого объема воды органиче-

ским растворителем. Использованная вода в дальнейшем может применяться только в технических целях. Второй способ удаления растворителя можно осуществить путем сушки материала горячим воздухом. Процесс извлечения растворителя путем конвективной сушки материала горячим воздухом также малоэффективен по ряду причин. Смесь воздуха и паров органики может привести к образованию взрывоопасной концентрации, которая приводит к взрыво- и пожароопасным условиям технологического процесса. Поэтому при использовании горячего воздуха повышение его температуры крайне нежелательно, а это приводит к уменьшению скорости сушки и увеличению продолжительности данного процесса. Следующим немаловажным фактором являются трудности по дальнейшему разделению газовой смеси воздуха и паров растворителя.

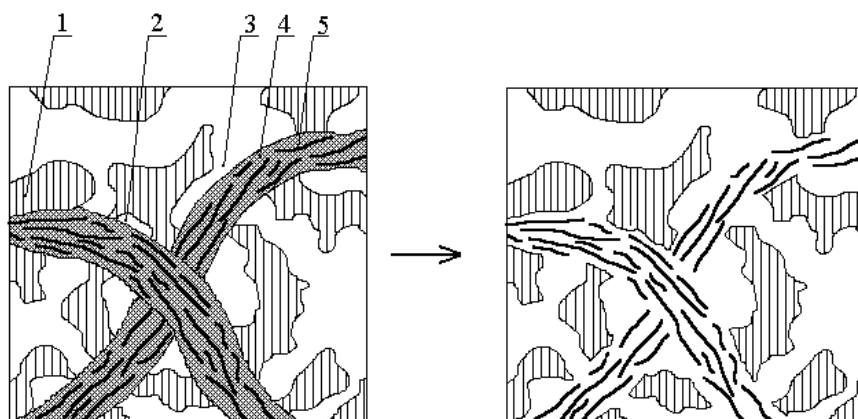


Рис. 1. Структурная модель изменения синтетической кожи при экстракции полиэтилена:

1 – полиэфируретановая основа; 2 – пустоты на границе основы с бикомпонентным волокном; 3 – поры в основе; 4 – матрица бикомпонентного волокна; 5 – нитевидные структуры, выполняющие роль фибрилл

Исследования начального этапа позволили сделать вывод о стадии удаления растворителя как о наиболее экологически и пожаробезопасном исполнении, которая может быть реализована в потоке водяного пара. Однако технологические особенности и скорость протекания процесса оставались не изученными. Поэтому в данной работе проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса извлечения растворителя из капиллярно-пористого материала водяным паром.

Сам технологический процесс производства синтетической кожи с улучшенными показателями включал селективный выбор растворителей для экстракции. В качестве экстрагентов полиэтилена выбраны алкилбензолы (толуол, о-, м-, п-ксилолы). На окончательный выбор растворителя влияет ряд факторов, такие как токсичность, стоимость, селективные и экстракционные свойства, продолжительность процесса удаления растворителя из синтезируемой основы и технология разделения

водно-органической смеси. Кроме этих перечисленных факторов при извлечении растворителя из полученной синтетической основы, одним из важнейших показателей оценки было определено время его удаления – кинетика процесса.

На кинетические особенности исследуемого процесса оказывают влияние физико-химические свойства растворителей, в качестве которых были выбраны алкилбензолы. Алкилбензолы растворяются в полиэфируретановой матрице синтетической кожи на уровне близком к 50 % масс, тогда как алифатические растворители в ней практически нерастворимы. Для ответа на вопрос, каким образом данное обстоятельство может повлиять на эффективность удаления этих растворителей из кожи необходимо проведение экспериментальных исследований, направленных на изучение кинетики данного процесса.

Токсикологические свойства, используемых алкилбензолов представлены в таблице [1].

Таблица. Предельно-допустимые концентрации веществ

Наименование вещества и его химическая формула	Предельно-допустимая концентрация (ПДК), мг/м ³			Класс опасности
	в рабочей зоне	в населенном пункте	в водоеме	
п-ксилол C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	50	0,2	0,05	3
толуол C ₆ H ₅ CH ₃	50	0,6	0,5	3

Данные жидкости оказывают негативное влияние на функционирование организма человека, вызывая раздражение кожного покрова, поэтому в конечном продукте остаточное содержание растворителя должно быть нулевым. Процесс извлечения растворителя из синтезированной кожи происходит одновременно с образованием смеси двух взаимно не смешивающихся жидкостей – ароматического растворителя и воды [2]. Для возобновления растворителя, который в наше время является ценным, и дальнейшего применения в технологии циклического производства добавлен этап разделения водно-органической смеси с последующей декантацией. Для возврата необходимого растворителя из его водной смеси применяются широко известные методы адсорбции и ректификации [3]. Учитывая вредные воздействия на организм человека данных реагентов, необходимо решить задачу, заключающуюся в поиске рационального способа,

который способствует полному удалению растворителя из синтезированного продукта кожи.

Исследования проводились на сборной лабораторной установке, схема которой указана на рис. 2. В установке последовательно герметично соединены парогенератор 1, пароперегреватель 2, рабочая ячейка 7, конденсатор 9 и сосуд для сбора конденсата 10. Ячейка обогревается с помощью термостата масляного типа (УН-4) 5. Измерение температуры пара на входе в ячейку проводится при помощи хромель-копелевой термопары 4 и показателями потенциометра 3, а на выходе зрительно с помощью ртутного термометра 6. Расход и температура водяного пара регулируются за счет изменения напряжений на нагревательных элементах парогенератора и пароперегревателя с помощью автотрансформаторов 12 и 11 лабораторного типа

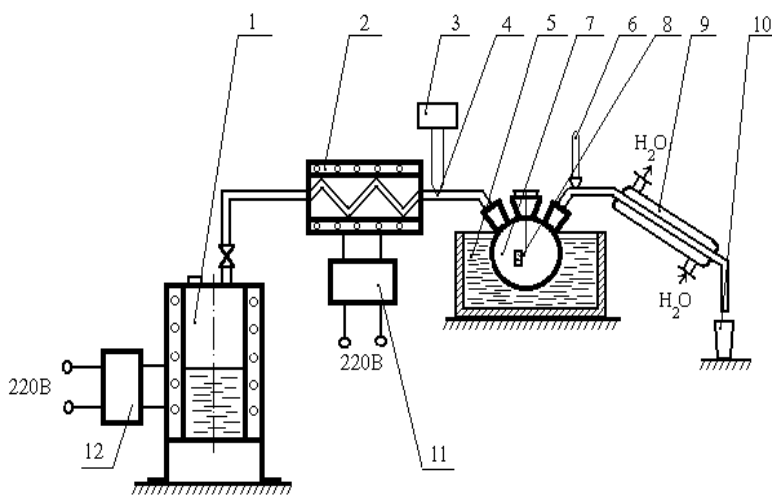


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной установки для сушки синтетической кожи от органического растворителя: 1 – парогенератор, 2 – пароперегреватель, 3 - потенциометр КСП-2, 4 – термопара, 5 – термостат УН-4, 6 – термометр, 7 – рабочая ячейка, 8 – образец, 9 – конденсатор, 10 – сосуд для сбора конденсата, 11 и 12 – автотрансформаторы лабораторные

Затем предстояло выявить, какая из двух стадий: отгонка из порового пространства материала или из микропор каркаса полиэфируретанового волокна является лимитирующей. Изначально проведено изучение процесса отгонки в токе насыщенного водяного пара толуола и изомерных ксилолов из основы синтетической кожи, а также пористой полиэфируретановой пленки, моделирующей высокомолекулярный каркас синтезированной кожи. Толщина взятых для исследования пленок бы-

ла на несколько порядков больше, чем толщина полиэфируретанового волокна, который мы использовали в коже. Параллельно проводилось исследование отгонки чистого растворителя из рабочей ячейки. Основой исследования явилось изучение объектов – освобожденные от полиэтилена образцы синтетической кожи, толщиной 2,5 мм и пористостью 75 %. В дополнение были изучены и описаны образцы пористых и монолитных полиэфируретанов толщиной от 0,2 до 1 мм.

Для описания кинетических условий изменения массы образцов в процессе обработки их водяным паром использовали следующую методику. Сухой образец полиэфируретана и синтетической кожи взвешивался и пропитывался растворителем. Пропитанный растворителем образец взвешивался повторно для определения массы вошедшего в него растворителя. Затем образец был помещен в рабочую кювету и подвергался обработке водяным паром с заранее заданными параметрами. Через фиксированный промежуток времени образец извлекался из ячейки и взвешивался. Данные действия повторялись требуемое количество раз, в результате которых и были выявлены кинетические зависимости.

На рис. 3 представлены кинетические особенности времени удаления п-ксилола из однородной полиэфируретановой пленки. Действию насыщенного водяного пара с температурой, физическими параметрами, которого были $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорость подачи $0,2 \cdot 10^{-3}\text{ м/с}$, подвергались образцы монолитного полиэфируретана толщиной 0,2; 0,5; 1 мм одинаковой массы. График иллюстрирует влияние размера полимерного материала на скорость отгонки. Полученная кинетическая зависимость является по характеру сходной с линейной, а значит зависимость времени удаления растворителя линейно зависит от толщины полиэфируретановой пленки.

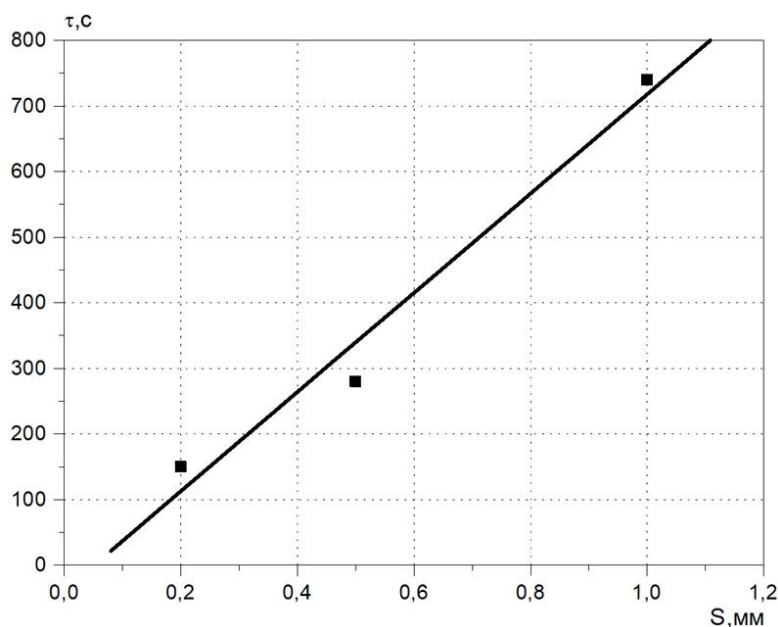


Рис. 3. Линейная зависимость времени отгонки п-ксилола от толщины полиэфируретановой пленки

Для оценки лимитирующей стадии изучаемого процесса в дальнейшем изучалась отгонка объема растворителя, введенного непосредственно в рабочую ячейку: в чистом виде, и из основы синтетической кожи. Изучение кинетики проводилось аналогично, предыдущему опыту, с теми же параметрами теплоносителя, но в рабочую ячейку сначала вводили фиксированный объем растворителя, а затем удалялся такой же объем органики из основы синтезированной кожи. Кинетические кривые отгонки п-ксилола из кожи и чистого растворителя представлены на рис. 4. Сравнение данных кривых позволяет сделать вывод, что при отгонке равного объема растворителя из ячейки и из образца синтетической кожи при одинаковых параметрах теплоносителя

видно, что время удаления «чистого» растворителя в три раза выше, чем при его отгонке из кожи. Поэтому можно заключить, что лимитирующей стадией изучаемого процесса является внутридиффузионное сопротивление, то есть удаление растворителя из пор материала.

Использование термина «отгонка» вместо «сушка» справедливо при использовании насыщенного водяного пара с температурой не более $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, так как процесс извлечения растворителя из синтезированной кожи сопровождается заполнением порового пространства материала водой, сконденсировавшейся из водяного пара. Это обстоятельство затрудняет определение степени удаления растворителя из кожи простым взвешиванием образца. Исследования показали, что продол-

жительность процесса отгонки растворителя составляет около 5 мин. Снижение скорости водяного пара с $0,8 \cdot 10^{-3}$ до $0,2 \cdot 10^{-3}$ м/с не при-

вело к изменению скорости отгонки растворителя и продолжительности процесса.

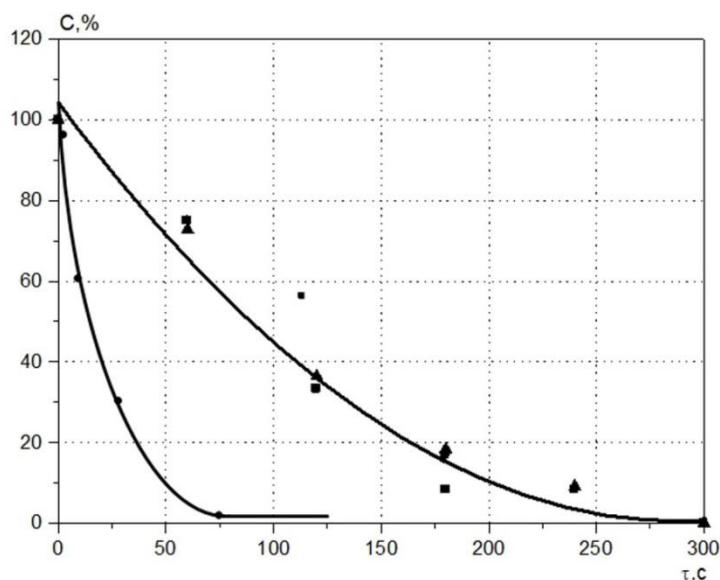


Рис. 4. Кинетическая зависимость отгонки п-ксилола из рабочей кюветы и синтетической кожи.

Проведенные исследования не дали эмпирических зависимостей для расчета теплофизических характеристик материала, но позволили определить стадию процесса отгонки определяющую скорость и сделать вывод о неэффективности использования в качестве теплоносителя насыщенного водяного пара, так как при его использовании возникает необходимость последующей сушки синтетической кожи от водяного конденсата.

В последующем были проведены аналогичные экспериментальные исследования [4] по удалению ароматических растворителей из основы синтетической кожи в среде перегретого водяного пара. Главным достоинством такой сушки материала является возможность получения сухой кожи за один цикл ее обработки. Данный способ сушки экологически и пожаробезопасен. При использовании перегретого водяного пара на этапе прогрева материала можем видеть процесс конденсирования с предельным насыщением водяным паром. В последующем испаряется гораздо меньший объем воды, чем при использовании насыщенного водяного пара.

Для построения кинетической зависимости изменения массы образца в процессе обработки его перегретым водяным паром использовали относительное количество оставшейся в образце жидкости, которое рассчитывали по формуле:

$$C = \frac{m(\tau) - m_0}{m(\tau)}, \quad (1)$$

где m_0 – масса сухого образца, $m(\tau)$ – масса образца предварительно заполненного растворителем и обработанного перегретым паром в течение времени τ .

Температурная кривая сушки была получена при помощи дополнительной термопары, установленной в образце, что позволило непрерывно фиксировать увеличение температуры образца по мере его освобождения от жидкости.

Кинетические зависимости температуры и зависимости убыли массы в процессе сушки материала перегретым водяным паром с температурой 110 °С и 150 °С иллюстрирует рис. 5.

Приведенные на рис. 5 кинетические особенности исследуемого процесса являются типичными температурными кривыми сушки материала от двухкомпонентного состава (растворителя и воды). Первоначальный участок на температурных зависимостях соответствует периоду прогрева объекта исследования, длительность которого практически не зависит от параметров теплоносителя. Следующий за ним «плато» зависимости свидетельствует об удалении из материала органического растворителя. Данному участку соответствует температура 93 °С, что соответствует теоретической температуре кипения смеси вода – п-ксилол [5]. С

повышением температуры пара протяженность данного участка уменьшается. По особенностям поведения материала, подвергающемуся сушке происходит плавное смещение равновесия перегоняемой смеси в сторону воды, что на температурных кривых отражается плавным ростом температуры образца. Когда влагосодержание материала достигает своего критическо-

го значения, скорость сушки снижается пропорционально, а температура образца увеличивается и становится равной температуре перегретого водяного пара. Данный момент свидетельствует о содержании влаги в материале, которая достигает своего минимального значения, то есть близкого к нулю.

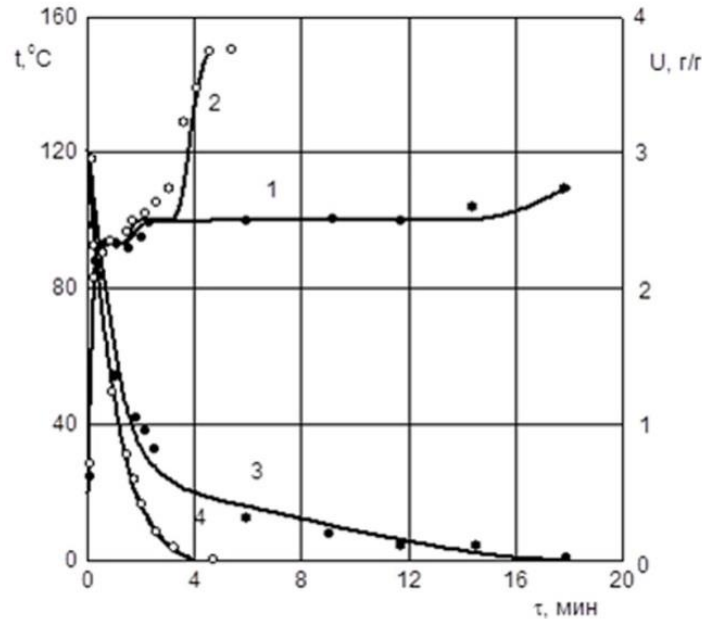


Рис. 5. Температурные (1,2) и массовые (3,4) зависимости сушки материала перегретым водяным паром: при температуре 110 °С – графики 1, 3; при 150 °С – графики 2, 4

Анализ полученных экспериментальных данных и результаты выполненного ранее исследования пористости синтетической кожи, позволяют сделать вывод о том, что при низких значениях температуры пара удаление растворителя и воды идет с постоянной скоростью сушки, определяемой периодами. При незначительных же снижениях температуры

теплоносителя скорость процесса в основном зависит от внешнедиффузионного сопротивления, а при увеличении температуры – внутреннедиффузионным сопротивлением. Для первого случая используем следующие уравнения, описывающие состояние равновесия тепла и массы. Уравнение теплового баланса:

$$\frac{dT}{d\tau} (m_c \cdot c_m + m_c \cdot x_a \cdot c_a + m_c \cdot x_b \cdot c_b) = \alpha \cdot F (T_n - T) + r_a^* \cdot \beta_1 \cdot (P_a - P_a^*) \cdot F \cdot H(x_a) + r_b^* \cdot m_c \frac{dx_b}{d\tau}. \quad (2)$$

Уравнение равновесия по растворителю:

$$m_c \cdot \frac{dx_b}{d\tau} = \beta_1 (P_a - P_a^*) \cdot F \cdot H(x_a). \quad (3)$$

Уравнение равновесия по воде:

$$m_c \cdot \frac{dx_b}{d\tau} = \frac{\alpha_1 \cdot F \cdot (T_n - T)}{\tau_b} \cdot H(x_a) + \beta_2 \cdot F \cdot P_b^* \cdot [1 - H(x_a)] \cdot H(x_a), \quad (4)$$

где $\alpha = \alpha_1 \cdot H(x_a) + \alpha_2 \cdot [1 - H(x_a)]$.

Для решения задачи материального баланса запишем дополнительные соотношения.

Для массоотдачи:

$$G_a = \beta_1 \cdot (P_a^* - P) \cdot F. \quad (5)$$

Парциальное давление органического растворителя в паровой фазе:

$$P_a = \left(\frac{G_a}{G_n} \right) \cdot \left(\frac{M_b}{M_a} \right) \cdot P_b. \quad (6)$$

Тогда закон Дальтона:

$$P = P_a + P_b, \quad (7)$$

где x_a , x_b – содержания растворителя и воды в образце, кг/кг; T – температура образца, К; T_n – температура водяного пара, К; α_1 , α_2 – коэффициенты теплоотдачи в первом и втором периодах, Вт/м²·К; β_1 , β_2 – коэффициенты массоотдачи в первом и втором периодах, кг/(с·м²·Па); F – наружная поверхность образца, м²; m_c – масса абсолютно сухого образца, кг; r_a , r_b – теплоты испарения компонентов А и В, Дж/кг; c_m , c_a , c_b – теплоёмкости сухого материала, растворителя и воды, Дж/(кг·К); G_n – расход пара, кг/с; G_a – массовый поток компонента, кг/с; P_a , P_b – парциальные давления паров растворителя и воды, Па; P – давление в системе, Па; P_a^* , P_b^* – давления насыщенных паров компонентов А и В, Па; $H(x)$ – единичная функция (функция Хэвисайда).

Первое слагаемое правой части уравнения (2) описывает тепловой поток от пара к образцу, второе – расход тепла на испарение растворителя, третье слагаемое – расход тепла на испарение воды. В уравнении (4) первое слагаемое правой части отражает массовый поток конденсата водяного пара, а второе – массовый поток испаряемой влаги.

Исходя из полученных уравнений, рассчитали коэффициенты тепло- и массоотдачи для всех стадий исследованного процесса, описывая режимы обработки основы синтетической кожи водяным паром. Зависимости от температуры, а также зависимости тепло-

массоотдачи от расхода пара удовлетворительные (во всех случаях коэффициент корреляции не хуже 0,98), которые описываются линейными соотношениями:

$$\alpha_1(T) = 673,4 - 4,01T_n,$$

$$\alpha_2(T) = 29 + 0,26T_n,$$

$$\beta_1(T) = 0,22 \cdot 10^6 + 0,25 \cdot 10^{-8} T_n,$$

$$\beta_2(T) = -0,32 \cdot 10^{-7} + 0,3 \cdot 10^{-9} T_n. \quad (8)$$

$$\alpha_1(G) = 72,5 - 3,1G_n,$$

$$\alpha_2(G) = 40,5 - 0,99G_n,$$

$$\beta_1(G) = 0,21 \cdot 10^{-6} + 0,12 \cdot 10^{-7} G_n, \quad (9)$$

$$\beta_2(G) = 0,41 \cdot 10^{-8} + 0,32 \cdot 10^{-9} G_n.$$

Полученные соотношения позволяют доказать эффективность применяемого процесса для сушки синтезированных высокомолекулярных материалов.

Таким образом, на основе исследования кинетики извлечения ароматических растворителей из нетканого материала установлено, что данный процесс наиболее целесообразен, учитывая его экологичность и безопасность, который реализуется в токе перегретого водяного пара. Технологический этап может быть описан как процесс конвективной сушки капиллярно-пористого материала двухкомпонентного состава: органического растворителя и воды. Изначально происходит полное удаление органического растворителя, а затем воды, сконденсировавшейся в порах кожи. Причем установлено, что незначительное повышение температуры перегретого пара приводит к резкому сокращению времени испарения, как растворителя, так и воды. Это следствие оценивает эффективность сушки, которая сопровождается уменьшением удельного расхода водяного пара на единицу испарения органики. Напротив, увеличение расхода водяного пара – практически не влияет на кинетику самого процесса. Следовательно, нет необходимости проводить весь процесс сушки кожи с одинаковыми параметрами водяного пара, то есть наиболее рационально перегретый пар использовать на начальной стадии, когда содержание растворителя в материале велико, поскольку температура близка к температуре кипения удаляемого растворителя, а это, в свою очередь, минимизирует расход теплоносителя и сохраняет высокое качество кожи. Полученные на данном этапе работы результаты могут быть положены в основу математического мо-

делирования процесса сушки пористого нетка-

ного материала.

Список литературы

1. Лазарев Н. В., Левина Э. Н. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Л.: Химия, 2012. 214 с.
2. Денеф Аль С. Б. Ш. Процессы испарения растворителей нефтехимии и сушки покрытий на их основе: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.17.08. Тамбов, 2013. 17 с.
3. Справочник химика: Органические вещества. Л.: Химия, 1977. Т. 2. 89 с.
4. Мизеровский Л. Н., Почивалов К. В. Исследование процесса удаления экстрагента матрицы бикомпонентного волокна из основы синтетической кожи // Текстильная химия. 1995. № 2. С. 90–96.
5. Багатуров С. А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации. М.: Химия, 1974. 439 с.

himikov, inzhenerov i vrachej [Harmful substances in industry. A Handbook for Chemists, Engineers and Physicians]. Leningrad: Himiya, 2012, 214 p.

2. Denef Al' S. B. SH. *Processy ispareniya rastvoritelej neftekhimii i sushki pokrytij na ih osnove: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.17.08* [Evaporation of petrochemical solvents and drying of coatings based on them: author. dis.... cand. tech. sciences: 05.17.08]. Tambov, 2013. 17 p.

3. *Spravochnik himika: Organicheskie veshchestva* [Chemist's Handbook: Organics]. Leningrad: Himiya, 1977, T. 2, 89 p.

4. Mizerovskij L. N., Pochivalov K. V. *Issledovanie processa udaleniya ekstragenta matricy bikomponentnogo volokna iz osnovy sinteticheskoy kozhi* [Investigation of the process of removing the extractant of the matrix of bicomponent fiber from the base of synthetic leather]. *Tekstil'naya himiya*, 1995, issue 2, pp.90–96.

5. Bagaturov S. A. *Osnovy teorii i rascheta peregonki i rektifikacii* [Fundamentals of theory and calculation of distillation and rectification], Moscow: Himiya, 1974, 439 p.

References

1. Lazarev N. V., Levina E. N. *Vrednye veshchestva v promyshlennosti. Spravochnik dlya*

Покровский Аркадий Алексеевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: aapokrovsky@mail.ru

Pokrovsky Arkady Alekseevich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: aapokrovsky@mail.ru

Кропотова Наталья Анатольевна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: nzhirova@yandex.ru

Kropotova Natalia 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, senior lecturer

E-mail: nzhirova@yandex.ru

УДК 614.841.411

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ С МНОГОУРОВНЕВЫМИ АНТРЕСОЛЯМИ

**В. И. ПРИСАДКОВ¹, А. А. АБАШКИН¹, А. С. ЗУЕВА¹,
С. В. МУСЛАКОВА¹, Д. В. УШАКОВ¹, К. В. ПРИСАДКОВ²**

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России),
Российская Федерация, г. Балашиха
E-mail: k708@yandex.ru

²ООО «ЦентрПСР», Российская Федерация, г. Владимир

В статье рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности исторических зданий с антресолями. Введено новое понятие «многоуровневая антресоль – это ряд помещений (площадок) на различных отметках, соединенных незащищенными проемами с зальным помещением, и связанные между собой лестничными переходами». Антресоли могут являться путями эвакуации из других помещений, выходящих в антресоль. Установлены конструктивные особенности устройства многоуровневых антреселей и возможности безопасной эвакуации людей с таких антреселей в исторических зданиях.

Рассмотрен пример обеспечения пожарной безопасности восстанавливаемого здания храма с многоуровневой антресолью. Проведена проверка эффективности предложенной системы обеспечения пожарной безопасности здания храма, включая антресоли, на основе расчетов индивидуального пожарного риска. Полученные результаты могут быть использованы как при проектировании противопожарной защиты конкретных объектов, так и в качестве предложений для включения в нормативные документы по противопожарной защите общественных зданий с многоуровневыми антресолями.

Ключевые слова: многоуровневая антресоль, объект культурного наследия, система обеспечения пожарной безопасности, эвакуация из антресоли, многосветное помещение.

FIRE SAFETY FEATURES HISTORIC BUILDINGS WITH MULTI-LEVEL MEZZANINES

**V. I. PRISADKOV¹, A. A. ABASHKIN¹, A. S. ZUEVA¹,
S. V. MUSLAKOVA¹, D. V. USHAKOV¹, K. V. PRISADKOV²**

¹The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,
Russian Federation, Balashikha
E-mail:k708@yandex.ru

²OOOCentrPSR, Russian Federation, Vladimir

The article considers the questions connected with the issues of fire safety of historical buildings with entresols. A new notion was introduced: "a multi-level entresol is a number of rooms (platforms) at various levels, connected by unprotected openings with an open-space room, and connected by stairways."

Entresols can be escape routes from other rooms that open to the entresol.

The constructional features of multi-level entresols and the possibility of safe evacuation of people from such entresols in historical buildings are established. An example of fire safety of a restored Church building with a multi-level entresol is considered.

The effectiveness of the proposed fire safety system of the Church building, including the entresol, was checked based on calculations of individual fire risk. The obtained results can be used both in the design of fire protection of certain objects, and as suggestions for inclusion in regulatory documents on fire protection of public buildings with multi-level entresols.

Key words: multi-level entresol, cultural heritage site, fire safety system, evacuation from the entresol, escape route

Архитектурное разнообразие объемно-планировочных решений зданий, являющихся объектами культурного наследия народов Российской Федерации, в настоящее время не достаточно полно отражено в нормативных документах по пожарной безопасности [1].

На практике, при разработке систем обеспечения пожарной безопасности объектов культурного наследия, исходят из требований федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»¹ (далее – ФЗ-123) и федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации»² (далее – ФЗ-73). При наличии в указанных законах явных противоречий, возможна гармонизация требований этих законов и определенная оптимизация систем обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) на основе разработанных и апробированных предложений [2, 3]. Эти предложения могут быть отнесены, в том числе, к требованиям по организации путей эвакуации в исторических зданиях, особенно при наличии в них такого архитектурного решения, как антресоли.

В пункте 3.5 СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» антресоль определяется как «доступная площадка в объеме двухсветного помещения, открытая в это помещение, или расположенная в пределах этажа с повышенной высотой, размером менее 40% площади помещения, в котором она находится. Антресоль не является этажом»³. Такое же определение антресоли дано и в СП 456.1311500.2020 «Многофункциональные

здания. Требования пожарной безопасности»⁴.

В нормативных документах по пожарной безопасности допускается устройство антресолей в многофункциональных зданиях (далее – МФЗ) I-III степеней огнестойкости и предъявляются требования по пределам огнестойкости строительных конструкций антресолей. Требования к путям эвакуации с антресолей изложены в трех пунктах свода правил «Многофункциональные здания. Требования пожарной безопасности»:

- Антресоль должна иметь не менее двух рассредоточенных эвакуационных выходов. Допускается предусматривать для эвакуации с антресоли лестницы 2-го типа (п.7.6)⁵.

- Количество эвакуационных выходов из помещения, где располагается антресоль, следует определять по СП 1.13130⁶ с учетом количества людей на антресоли, но принимать не менее двух (п. 7.7)⁷.

Наибольшее расстояние от любой точки антресоли до ближайшего эвакуационного выхода из части здания, в котором она расположена, следует принимать в соответствии с требованиями СП 1.13130⁸ исходя из наименьшего значения, предусмотренного для части здания или пожарного отсека соответствующего класса функциональной пожарной опасности. При этом в длину пути эвакуации включается длина пути по лестнице 2-го типа (п. 7.8)⁹.

Многие объекты культурного наследия имеют IV или V степень огнестойкости. Часто это объекты религиозного назначения с массовым пребыванием людей, с архитектурными особенностями в виде хоров, балконов, галерей или антресолей.

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

² Федеральный закон Российской Федерации от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов России».

³ СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».

⁴ СП 456.1311500.2020 «Многофункциональные здания. Требования пожарной безопасности».

⁵ Там же.

⁶ СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

⁷ СП 456.1311500.2020 «Многофункциональные здания. Требования пожарной безопасности».

⁸ СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

⁹ СП 456.1311500.2020 «Многофункциональные здания. Требования пожарной безопасности».

В нормативных документах по пожарной безопасности СП 258.1311500¹⁰ и СП 388.1311500¹¹ приведены требования к балконам, лоджиям и галереям, при этом требования пожарной безопасности к антресолям отсутствуют. Согласно СП 258.1311500¹² в храме балконы для размещения прихожан и хоров могут размещаться только на одном уровне. Вместе с тем, в исторических зданиях религиозного назначения антресоли бывают весьма разнообразными по устройству и размещению: могут включать различные по назначению помещения, находиться в нескольких уровнях, а также использоваться в качестве путей эвакуации из помещений, примыкающих к антресолям.

Целью настоящей статьи является идентификация конструктивных особенностей антресолей в исторических зданиях на примере объектов религиозного назначения и обоснование предложений по обеспечению пожарной безопасности исторических зданий с многоуровневыми антресолями.

1. Особенности устройства антресолей в исторических зданиях

Исходя из опыта разработки нормативных документов по пожарной безопасности для общественных зданий – объектов культурного наследия можно выделить следующие особенности устройства антресолей в исторических зданиях.

1. В здании может быть не одна, а несколько площадок (антресолей), связанных между собой общими путями эвакуации и выходящих через проемы в один общий зал (например, молельный зал).

2. Площадки антресолей могут находиться на различных уровнях (отметках) здания, включать открытые лестницы 2-го типа, соединяющие указанные площадки как самостоятельные помещения (например: помещения для воскресных школ, иконописные мастерские, реставрационные мастерские, библиотеки, помещения для звонаря, выставочные помещения).

3. Может иметь место **превышение** длины пути эвакуации для помещений, выходящих на антресоли, относительно требований СП 1.13130¹³.

¹⁰ СП 258.1311500.2016 «Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности».

¹¹ СП 388.1311500.2018 «Объекты культурного наследия религиозного назначения. Требования пожарной безопасности».

¹² СП 258.1311500.2016 «Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности».

¹³ СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

Антресоли с вышеуказанными особенностями назовем далее – многоуровневыми антресолями. Ниже рассмотрим пример выбора СОПБ для здания с многоуровневыми антресолями.

2. Краткая характеристика объекта с многоуровневыми антресолями

Рассмотрено в качестве иллюстрации объемно-планировочное решение многоуровневой антресоли в историческом здании Собора в одном из монастырей России. Собор является объектом культурного наследия федерального значения, согласно п.п. 4,5, ст. 47.4 ФЗ-73¹⁴.

Возможность осмотра здания собора группами посетителей (мирянами) обеспечена только снаружи. Интерьер храма не относится к предмету охраны объекта культурного наследия и в соответствии с п. 6 ст. 47.4 ФЗ-73¹⁵ посетители (миряне) внутрь храма не допускаются.

На рис. 1 представлен разрез здания собора. Показанные на разрезе лестницы соединяют площадки трех уровней одной антресоли в северной части храма. Многоуровневая антресоль имеет три площадки (**отм. +3,300, +5,600 и +8,720**).

На 1-м этаже Собора (рис. 2) размещается молельный зал, включающий северный и южный приделы, алтарь, среднюю часть, трапезную и притвор. В притвор выходят две открытые лестницы, первый этаж с антресолями по северному и южному фасадам здания.

По северному фасаду здания предусмотрено помещение антресоли на отметках +3,300, +5,600 и +8,720. Разновысокие отметки помещения пола антресоли соединены лестницей из железобетонных конструкций. Помещение антресоли на отметке +5,600 имеет естественное освещение через окна в наружных стенах здания. На антресоли (отм. +8,720) устроено помещение для звонаря. С этого уровня предусмотрен выход через тепловой тамбур с лестницей на уровень звона (отм. +14,145).

Колокольня выполнена как надстроенный над притвором объем в виде башни, завершенной шпилем с крестом. На верхней площадке колокольни расположена звонница (отм. +14,145). Связь между уровнем звона и антресолью предусмотрена по металлической лестнице. Верхний ярус колокольни выполнен с открытыми проемами, в которых на металлических балках подвешены колокола.

¹⁴ Федеральный закон Российской Федерации от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов России».

¹⁵ Там же.

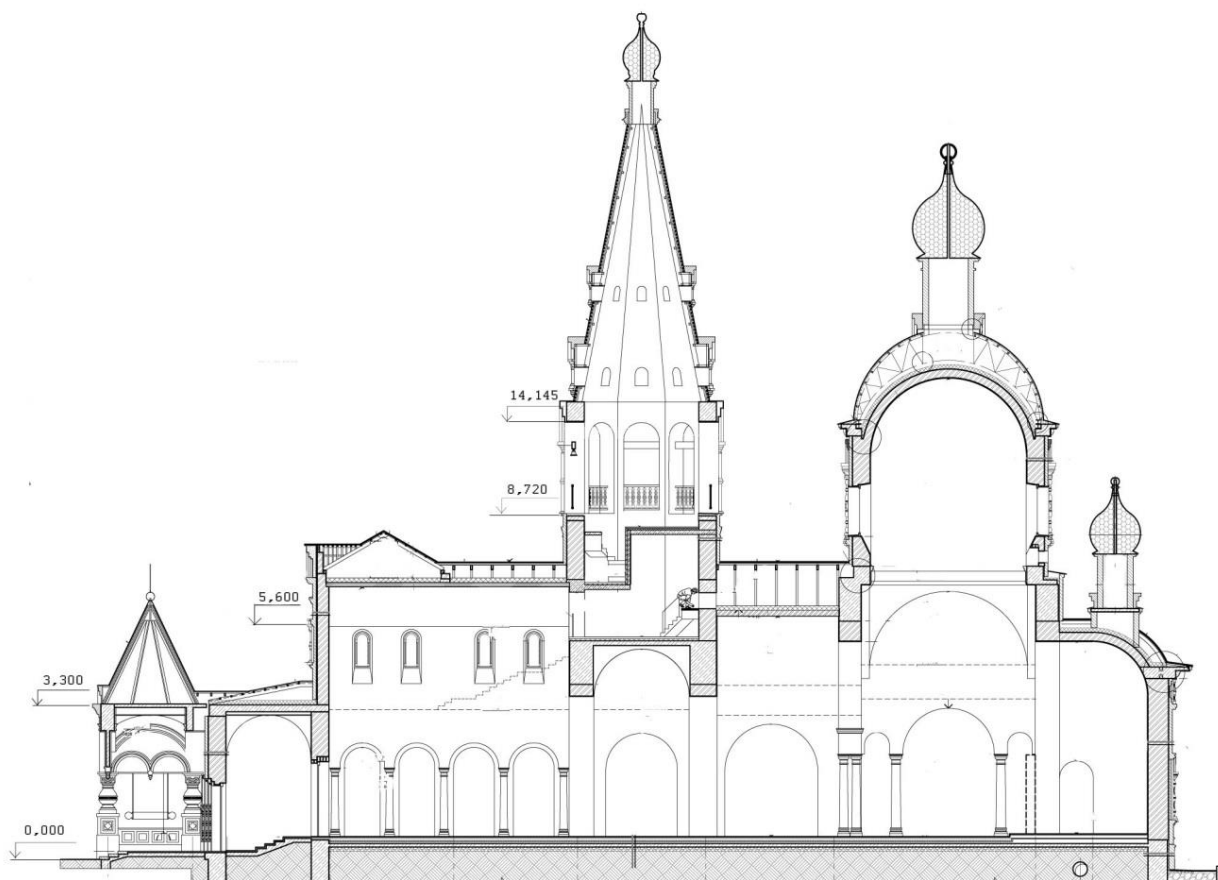


Рис. 1. Разрез здания собора

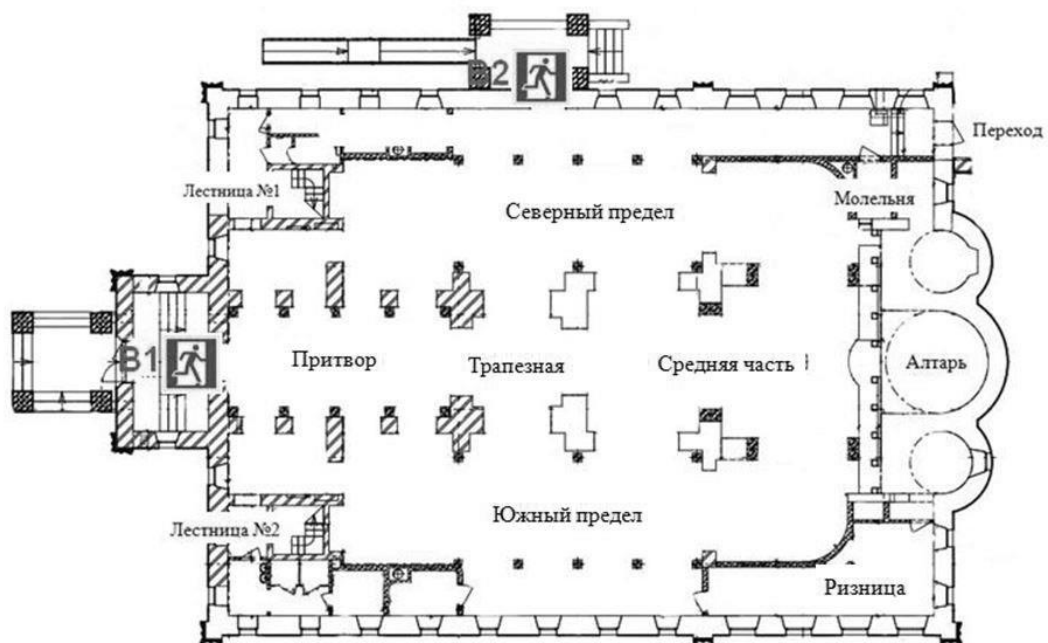


Рис. 2. План первого этажа Собора

На колокольне не предусмотрена смотровая площадка и отсутствует постоянное пребывание людей. Высота подъема звонаря на колокольню с уровня пола 1-го этажа составляет около 14 м при нормативной высоте подъема до 5 м по СП 258.1311500¹⁶. Звонарь в антресоли и на звоннице может находиться до 1,5-х часов в сутки. В ограждениях антресоли на отметке +8,720 устроен люк для входа в помещение чердака здания. Помещения антресоли на отметках +3,300 и +5,600 – резервные.

Вторая одноуровневая антресоль расположена вдоль южного фасада здания на отметке +6,095. Из антресоли устроен технологический выход для обслуживания помещений чердака.

Стены внутренних перегородок в здании из кирпича и железобетона.

В уровне 1-го этажа вход в храм выполнен по западному фасаду через тамбур в объем паперти.

В Соборе может находиться до 91-го человека, включая священника и звонаря из числа монашествующих.

Доступ людей с ограниченными физическими возможностями на колясках (группа М4) предусматривается только в помещения 1-го этажа через двери по северному фасаду.

Антресоль имеет выход в северный притвор из которого устроен выход через тепловой тамбур непосредственно наружу (выход

В2 на рис. 2). Другой выход из Собора предусмотрен по западному фасаду здания (выход В1).

Алтарь, средняя часть, трапезная и притвор составляют единый объем, соединенный открытыми проемами с тремя площадками многоуровневой антресоли.

3. Численный эксперимент по эвакуации людей из здания собора с многоуровневой антресолью

При проведении численного эксперимента по проверке эффективности эвакуации людей из помещений Собора на всех уровнях были рассмотрены два сценария развития пожара [4, 5]:

- пожар возникает в средней части здания в помещении, расположенном на первом этаже, на уровне пола (вариант 1);
- пожар возникает в южном приделе в помещении, расположенном на первом этаже, на уровне пола (вариант 2).

Расчеты проводились в соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности¹⁷. На рис. 3 приведено размещение людей в здании собора до начала эвакуации.

Итоговые результаты расчетов по безопасности людей при пожаре в здании собора приведены в таблице.

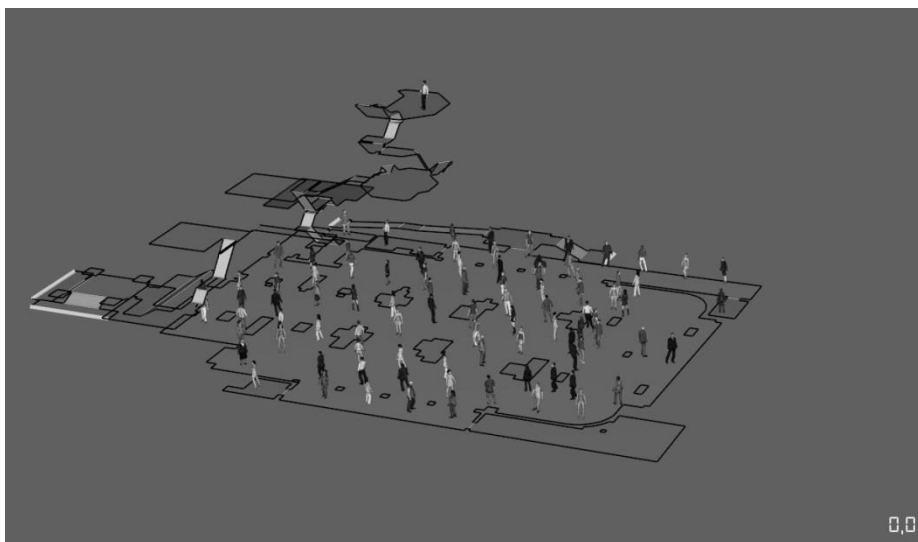


Рис. 3. Размещение людей в помещениях Собора

¹⁶ СП 258.1311500.2016 «Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности».

¹⁷ Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности, утверждена приказом МЧС России от 30.06. 2009 г. № 382. Зарегистрировано в Минюсте России 06.08.2009 № 14486 (в ред. Приказов МЧС России от 12.12.2011 № 749 и от 02.12.2015 № 632).

Таблица 1. Временные характеристики процесса эвакуации из зального помещения собора

Пути эвакуации		$t_{бл}, c$	$0,8t_{бл}, c$	t_p, c	Запас по времени ($t_{0,86л} - t_p$), c
Вариант 1	B1	220	176	45	131
	B2	280	224	50	174
Вариант 2	B2	230	184	60	124

Как видно из таблицы, для рассмотренных сценариев развития пожара время блокирования путей эвакуации превышает расчетное время эвакуации людей из здания. Сравнивая полученные значения, можно сделать вывод, что безопасная эвакуация людей, находящихся в помещениях Собора, будет обеспечена при выполнении следующего условия: время от момента возникновения возгорания до момента начала эвакуации не превысит минимального запаса по времени равного 124 секунды. Указанное обстоятельство необходимо учитывать при выборе оборудования для системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) и системы оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ).

4. Система противопожарной защиты Собора с антресолями

Полученные выше результаты численного эксперимента по проверке эффективности эвакуации людей из помещений Собора соответствуют СОПБ здания со следующими основными характеристиками:

- **пределы огнестойкости несущих строительных конструкций антреселей** соответствуют степени огнестойкости здания;
- *многоуровневая антресоль имеет один эвакуационный выход в притвор здания;*
- количество выходов из зального помещения, в которое предусмотрен выход из антресоли, должно быть не менее двух;
- с учетом расчетного обоснования допускается увеличение длины пути эвакуации от любой точки помещения, выходящего в антресоль, до выхода наружу из здания;
- в зальном помещении предусмотрена система противодымной вентиляции с естественным побуждением;
- помещения антресоли и уровень звона в Соборе оборудованы СОУЭ 3 типа;
- на выходе из помещения на отметке +8,720 (помещение звонаря) в смежное помещение установлена противопожарная дверь 2-го типа;
- лестницы, между помещениями антреселей и смежными помещениями, выполнены из негорючих материалов.

Заключение

Таким образом, на основе анализа пожарной безопасности многоуровневых антреселей в исторически зданиях установлено следующее.

1. Отсутствуют нормативные требования по пожарной безопасности к помещениям многоуровневых антреселей в общественных зданиях, относящихся к объектам культурного наследия.

2. Многоуровневые антресоли в исторических зданиях могут иметь несколько площадок на разных отметках, соединенных открытыми лестницами 2 типа.

3. Антресоли могут служить путями эвакуации для помещений, связанных с ними через дверные проемы.

4. Предлагается не предъявлять специальных требований к устройству открытых лестниц, соединяющих площадки многоуровневых антреселей.

5. При устройстве многоуровневых антреселей в зальных помещениях следует предусматривать противодымную вентиляцию из залов.

6. В помещениях антреселей следует ограничить пожарную нагрузку до 15 МДж/м².

7. Помещения антреселей, включая смежные с антресолями помещения, защитить СОУЭ не ниже 3-го типа.

8. При наличии многоуровневых антреселей необходимо предусматривать не менее двух рассредоточенных эвакуационных выходов из зальных помещений, в которые выходят антресоли.

9. Допускается увеличение расстояния по путям эвакуации из антреселей или от дверей наиболее удаленного помещения, выходящего в антресоли, до выхода из антреселей в зальное помещение, относительно нормативных требований, при условии расчетного обоснования по методике расчета индивидуального пожарного риска.

Список литературы

1. Присадков В. И., Ерёмина Т. Ю., Тихонова Н. В. Предпосылки разработки свода правил «Противопожарная защита объектов культурного наследия» // *Пожаровзрывобезопасность*. М.: 2017. №5. С. 45–53.

2. Критерии выбора рациональных вариантов систем противопожарной защиты храмовых комплексов / А. А. Бондырев, А. Н. Гилетич, В. И. Присадков [и др.] // *Пожарная безопасность*. 2014. №3. С. 112–115.

3. Возможности гармонизации требований федеральных законов от 25.06.2002 №73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» и от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (на примере объектов религиозного назначения) / В. И. Присадков, С. В. Муслakова, А. А. Абашкин [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. № 3(36). С. 99–109.

4. Холщевников В. В. Гносеология людских потоков: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. 592 С.

5. Обеспечение пожарной безопасности объектов культурного наследия / В. И. Присадков, С. В. Муслakова, Д. В. Ушаков [и др.] // *Ройтмановские чтения: сборник материалов 8-й научно-практической конференции*. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. С. 88–91.

References

1. Prisdakov V. I., Eremina T. U., Tikhonova N. V. Predposylki razrabotki svoda pravil «Protivopozharnaya zashita ob'ektov

kul'turnogo naslediya» [Prerequisites for the development of a set of rules «Fire protection of cultural heritage objects»]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2017, issue 5, pp. 45–53.

2. Kriterii vybora ratcyonal'nykh variantov system protivopozharnoy zashity khramovykh kompleksov [Criteria for selecting rational options for fire protection systems of temple complexes] / A. A. Bondyrev, A. N. Giletych, V. I. Prisdakov [et al.]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2017, issue 3, pp. 112–115.

3. Vozmozhnosti garmonizatcyi trebovaniy federal'nyrh zakonov ot 25.06.2002 № 73-FZ «Ob ob'ektah kul'turnogo naslediya (pamyatnikah istorii i kul'tury) narodov Rossiyskoy Federatcyi» i ot 22.07.2008 № 123-FZ «Tehnicheskiiy reglament o trebovaniyah pozharnoy bezopasnosti» [Opportunities for harmonization of federal law requirements from 25.06.2002 NO. 73-FL «About objects of cultural heritage (historical and cultural monuments) of the peoples of the Russian Federation» and from 22.07.2008 NO. 123-FL «Technical regulations on fire safety requirements» (on the example of religious objects)] / V. I. Prisdakov, S. V. Muslakova, A. A. Abashkin [et al.]. *Sovremennyye problemy grajdanskoy zashity*, 2020, vol. 3(36), pp. 99–109.

4. Kholshchevnikov V. V. *Gnoseologiya ljudskikh potokov: monografiya* [Epistemology of human flows: monograf]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2019, 592 p.

5. Obespechenie pozharnoy bezopasnosti ob'ektov kul'turnogo naslediya [Ensuring fire safety of cultural heritagesites] / V. I. Prisdakov, S. V. Muslakova, D. V. Ushakov [et al.]. *Roytmanovskie chteniya: sbornik materialov 8 nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2020, pp. 88–91.

Присадков Владимир Иванович

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

E-mail: k708@yandex.ru

Prisdakov Vladimir Ivanovich

FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia,

Russian Federation, Balashikha

doctor of technical sciences, professor, main researcher

E-mail: k708@yandex.ru

Абашкин Александр Анатольевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

заместитель начальника отдела

E-mail: k708@yandex.ru

Abashkin Aleksandr Anatol'yevich

FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia,

Russian Federation, Balashikha

Deputy Chief of Department
E-mail: k708@yandex.ru

Зуева Анна Станиславовна
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
Научный сотрудник
E-mail:k708@yandex.ru
Zueva Anna Stanislavovna
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
Researcher Scientist
E-mail:k708@yandex.ru

Мушлакова Светлана Витальевна
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
E-mail:k708@yandex.ru
Muslakova Svetlana Vital'yevna
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
E-mail:k708@yandex.ru

Ушаков Дмитрий Викторович
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
начальникотдела
E-mail: k708@yandex.ru
Ushakov Dmitriy Viktorovich
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
Chief of Department
E-mail: k708@yandex.ru

Присадков Константин Владимирович
ООО «ЦентрПСР»,
Российская Федерация, г. Владимир
Ведущий специалист
Prisadkov Konstantin Vladimirovich
ОООCentrPSR
Russian Federation, Vladimir
Senior Researcher

УДК 614.846

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЗАПРАВКИ ПЕНОБАКА НА ВРЕМЯ ПРИВЕДЕНИЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ В ГОТОВНОСТЬ ПОСЛЕ ПОЖАРА

А. Д. СЕМЕНОВ, А. Н. БОЧКАРЕВ, М. С. КНУТОВ

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

E-mail: sad8_3@mail.ru, knutov-vv@mail.ru, pogarnik1_artem@mail.ru

В работе показано, что временные показатели мероприятий по восстановлению готовности пожарных автомобилей и оборудования определяют готовность пожарной техники для тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ (АСР). Рассмотрены способы заполнения пенобака пожарного автомобиля. Показано, что наиболее перспективным способом заполнения является применение промежуточного насоса. Обосновано техническое решение по заполнению бака для хранения пенообразователя с использованием стационарного вакуумного агрегата пожарной автоцистерны.

Ключевые слова: восстановление готовности, пенообразователь, пенобак, время заполнения.

INFLUENCE OF THE METHOD OF FILLING THE FOAM TANK ON THE TIME OF BRINGING THE FIRE TRUCK TO READINESS AFTER A FIRE

A. D. SEMENOV, A. N. BOCHKAREV, M. S. KNUTOV

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, knutov-vv@mail.ru, pogarnik1_artem@mail.ru

The paper shows that the time indicators of measures to restore the readiness of fire trucks and equipment determine the readiness of fire equipment for fire extinguishing and emergency rescue operations. Discussed methods of filling the foam tank of a fire truck are considered. It is shown that the most promising filling method is the use of an intermediate pump. The technical solution for filling the storage tank for foaming agent using a stationary vacuum unit of a fire tanker is justified.

Key words: restoring readiness, foaming agent, foam tank, filling time.

Восстановление боеготовности подразделения пожарной охраны осуществляется непосредственно по прибытии в место постоянной дислокации и не должно превышать 40 минут¹.

Основные мероприятия, проводимые в рамках восстановления готовности пожарных автомобилей и оборудования в подразделении пожарной охраны, направлены на:

– заправку пожарных автомобилей (ПА) горюче-смазочными материалами и огнетушащими веществами;

– замену неисправного имущества, оборудования и снаряжения, средств связи, обмундирования (боевой одежды, формы одежды);

– техническое обслуживание ПА;

– мойку ПА.

Таким образом, временные показатели мероприятий по восстановлению готовности ПА и оборудования определяют готовность техники для тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ (АСР). О состоянии техники и завершении всех мероприятий диспетчеру гарнизона сообщается информация о готовности подразделения пожарной охраны к проведению боевых действий по ту-

© Семенов А. Д., Бочкарев А. Н., Кнутов М. С., 2020

¹ 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».

шению пожаров и действий по проведению аварийно-спасательных работ.

Время приведения в готовность пожарной техники и оборудования ограничено (составляет 40 мин.), что диктует необходимость разработки технических средств и способов, повышающих эффективность мероприятий по приведению пожарной техники в боевую готовность. Анализ мероприятий по приведению ПА в готовность показал, что наиболее затратной, по времени, является заправка пожарного автомобиля пенообразователем.

Целью работы является разработка технического решения по заполнению пенобака пожарного автомобиля на основе анализа временных показателей.

В подразделениях пожарной охраны заправку пенобака пожарного автомобиля осуществляют [1] с помощью перелива из одной емкости в другую; самодельных технических приспособлений – самотеком; насоса².

Оценку эффективности заполнения пенобака, при реализации рассматриваемых способов, проводили на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. В качестве модельной емкости под пенообразователь выбрана пластиковая канистра объемом 10 л, так как она наиболее близка по конструкции к баку для хранения пенообразователя на пожарном автомобиле. Эксперимент заключался в фиксировании времени заполнения пенообразователем канистры объемом 10 л различными способами: перелив из емкости в емкость (способ 1); самотеком (способ 2) – с применением самодельных технических приспособлений; промежуточного насоса (способ 3). В качестве трубопровода для способов 2 и 3 применялся полимерный шланг с внутренним диаметром 25 мм. Полученные значения времени выполнения процедуры представлены в таблице.

Таблица. Экспериментальные значения времени заполнения пенообразователем модельной емкости объемом 10 л

Попытка	Способ 1, мин.	Способ 2, сек.	Способ 3, сек.
1	32	29	15
2	28	30	13
3	30	26	14
4	34	27	15
5	29	26	14
Среднее значение	30,6	27	14

Рассмотрим причины, которые влияют на временные показатели заполнения пластиковой канистры. Так при первом способе заполнения осуществлялось наполнение модельной емкости переливом из другой емкости (рис. 1). Установлено, что при реализации такого способа среднее время для заполнения канистры составляет более 30 минут.

Наблюдения по заполнению (способ 1) модельной емкости показали, что высокие значения времени наполнения связаны с процессом пенообразования (рис. 2). В литературе [2], описывается процесс пенообразования, который зависит от возникновения турбулентности на границе раздела фаз пенообразователь-воздух при контакте пенообразователя в емкости с его потоком, при переливе.

Автором [3] установлено, что пенообразователи являются коллоидными поверхностно-активными веществами, а время жизни

пузырьков образовавшейся пены в таких системах может достигать несколько суток. Получаемая пена заполняет 15–20 % от объема модельной емкости и препятствует дальнейшему заполнению, поэтому требуется дожидаться осадения пены, что занимает до 90 % времени заполнения. Процесс пенообразования при заправке пенообразователя оказывает большое влияние на боевую готовность ПА. Установлено, что при заполнении пенобака пенообразователем происходит пенообразование, которое выражается в снижении использования полезного объема бака, нарушении регламента обслуживания ПА при возвращении в пожарно-спасательную часть, увеличении потерь перекачиваемой жидкости, а также в неблагоприятном воздействии на элементы и оборудование пожарного автомобиля. Таким образом, полному заполнению модельной емкости препятствует образовавшаяся пена.

² Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС. Руководство по эксплуатации. М: ЗАО «ПО «Спецтехника пожаротушения», 2011. 162 с.



Рис. 1. Заправка пенобака пожарного автомобиля переливом из одной емкости в другую



Рис. 2. Образование пены при заполнении модельной емкости переливом из одной емкости в другую

Известно [4], что для борьбы с пенообразованием применяются химические и физические методы. Однако использовать химические методы, при осаждении образующейся пены, нецелесообразно в виду негативного влияния [2, 3], применяемых веществ (пеногасителей), на свойства пенообразователя.

Анализ экспериментальных значений (таблица) показал, что время заполнения модельной емкости по способу 2, 3 значительно меньше, о чем свидетельствует среднее время заполнения, которое уменьшается с 30 мин. – 1 способ, до 27 сек. – 2 способ и 14 сек. – 3 способ.

Второй (рис. 3) и третий (рис. 4) способ заполнения модельной емкости технически схожи.

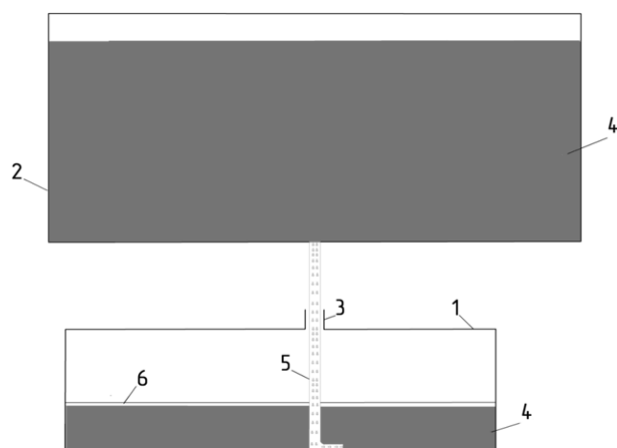


Рис. 3. Заправка пенобака с помощью самодельных технических приспособлений самотеком: 1 – пенобак, 2 – емкость с пенообразователем, 3 – горловина пенобака, 4 – пенообразователь, 5 – патрубок, 6 – слой пены



Рис. 4. Заполнение пенобака с использованием промежуточного насоса

Процесс заполнения состоит в том, что самотеком или с помощью насоса пенообразователь по гибким шлангам из емкости для хранения направляется в модельную. Вследствие того, что удается подобрать необходимую скорость подачи пенообразователя, устанавливается ламинарный режим истечения жидкости без образования границы раздела фаз потоков пенообразователя – воздух. В результате установившегося истечения пенообразователя пена не образуется, и емкость заполняется полностью за экспериментально установленные значения времени.

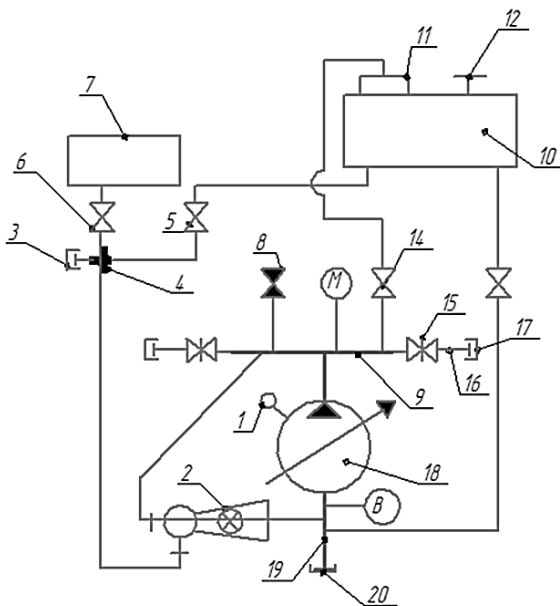
Таким образом, для уменьшения вспенивания пенообразователя при наполнении пенобаков ПА наиболее эффективными и гибкими являются физические методы. Сравнительный анализ возможных способов заполнения показал, что использование промежуточных насосов для перекачки является эффективным. Известно [5], что в качестве насосов рекомендуется использовать насосы, создающие ламинарный поток жидкости при перекачке, к таким агрегатам относятся насосы объемного действия. Однако рассматриваемые

способы заправки требуют определенных технико-экономических решений. Так, при организации второго способа необходима реализация специально оборудованного места с емкостью уровень, которой находится выше уровня пенобака пожарного автомобиля. Это трудно реализуемо в связи с тем, что требует реконструкции помещений пожарно-спасательной части.

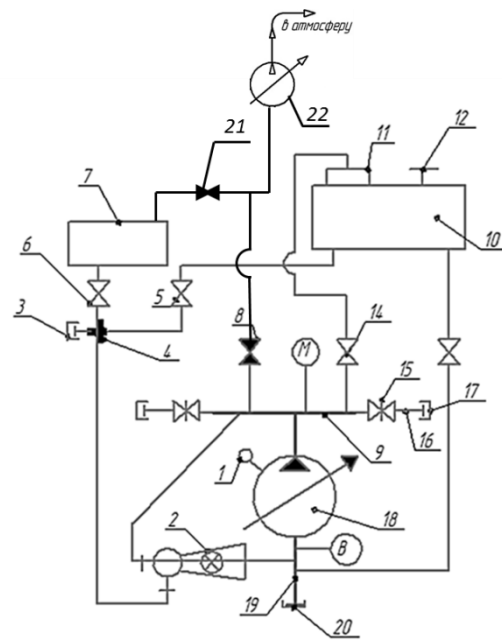
Наиболее предпочтительным является третий способ заполнения пенобака в виду его простоты и универсальности, но промежуточные насосы, применяемые для перекачки

вспенивающихся веществ, дорогостоящи. На ПА предусмотрена автоматическая вакуумная система (АВС) для заполнения рабочей полости пожарного насоса водой. Основным вакуумным агрегатом такой системы является шиберный насос [1]³.

Рассмотрим возможность использования стационарного вакуумного агрегата для заполнения пенобака пожарной автоцистерны. Классическая схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны представлена на рис. 5.



а – Схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны



б – Схема водопенных коммуникаций забора пенообразователя с использованием АВС

Рис. 5. 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 – шиберный насос (вакуумный агрегат)

Конструкция водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны имеет замкнутый, герметичный контур. Исходя из схемы (рис. 5 а) видно, что подачу пенообразователя в пеносмеситель 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 пожарного автомобиля с использованием стационарного вакуумного насоса 22 (рис. 5 б). Для реализации данного способа требуется создание до-

полнительного трубопровода коммуникаций с шаровым краном 21. Разряжение в пенобаке создается вакуумным насосом 22 (рис. 5 б), 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 шиберного насоса

³ Вакуумный насос АВС-01Э. Руководство по эксплуатации. Миас: АО «Пожгидравлика», 2004. 25 с.

в пенобаке требуется установка датчика, соединенного с блоком управления вакуумного агрегата, для автоматического отключения двигателя вакуумного насоса при заполнении емкости бака пенообразователя.

Разработанное техническое решение по заполнению бака для хранения пенообразователя на пожарном автомобиле было реализовано в пожарной автоцистерне марки АЦ 2,5-40 (ЗИЛ-433362). Упрощенная схема заполнения пенобака пожарного автомобиля марки АЦ 2,5-40 (ЗИЛ-433362) с использованием вакуумного насоса представлена на рис. 6.

Согласно рис. 6 в водопенных коммуникациях вакуумным насосом 2 создается раз-

ряжение, из сторонней емкости 4, по кислотно-щелочному шлангу 3, пенообразователь всасывается по системе трубопроводов в пенобак 1. Таким образом, достигается автоматизация процесса заполнения бака пенообразователя на пожарном автомобиле.

Предварительная оценка применимости стационарного вакуумного насоса проведена в соответствии с [6, 7]. Исходные данные для расчета: бак для хранения пенообразователя в пожарном автомобиле объемом 165 л, высота размещения 2,5 м от уровня земли (рис. 7), создаваемое разряжение 0,8...0,9 атм., плотность пенообразователя $\rho=1100 \text{ кг/м}^3$.

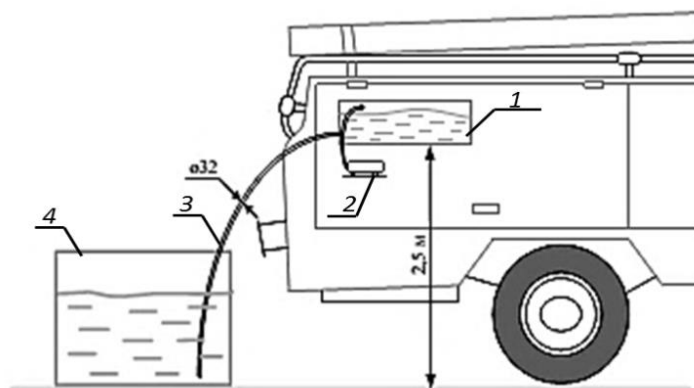


Рис. 6. Упрощенная схема заполнения пенобака стационарным вакуумным насосом: 1 – пенобак; 2 – шибберный насос (вакуумный насос); 3 – кислотно-щелочной шланг диаметром 32 мм (КЩ 32); 4 – сторонняя емкость с пенообразователем

Для двух выбранных сечений составим уравнение Бернулли:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} + \Delta h_{1-2}, \quad (1)$$

где Z – высота на которой находится емкость; p – давление в емкости; v – скорость потока; g – ускорение свободного падения ($9,8 \text{ м/с}^2$); ρ – плотность жидкости; Δh – потери напора.

Расчет показал, что при создании в пенобаке разряжения при помощи шибберного насоса – 0,85 атм., пенообразователь будет заполнять бак со скоростью 0,12 м/с, за время равное 241 сек = 4 мин.

Экспериментальные значения по наполнению бака для хранения пенообразователя на пожарном автомобиле при использовании стационарного вакуумного насоса показали, что среднее время заполнения равно 4,25 мин. Причем, при заполнении устанавливается равномерный ламинарный поток пенообразователя. В результате установившегося истечения пенообразователя пена не образуется, и емкость заполняется полностью за установленный промежуток времени. Анализ

времен заполнения, полученных расчетным и экспериментальным способом, показывает, что данные хорошо согласуются между собой, а применение стационарного вакуумного насоса для заполнения пенобака на пожарном автомобиле является целесообразным.

Сравнительный анализ способов заполнения модельной емкости пенообразователем показывает, что использование технических решений, по уменьшению пенообразования при перекачке пенообразователя, позволяет сократить время заполнения пенобака. Так, на заполнение бака для пенообразователя объемом 200 л требуется: 2-3 часа - при переливе из емкости в емкость (способ 1); 9 мин – самотеком (способ 2) – с применением самодельных технических приспособлений; 4-5 мин с применением промежуточного насоса (способ 3). Однако рассматриваемые способы заправки требуют определенных технико-экономических решений, а зачастую трудно реализуемы и дорогостоящи.

Таким образом, наиболее эффективным является предлагаемый, в работе, способ заполнения пенобака с использованием стационарного вакуумного насоса, эффективность

его подтверждена экспериментально и техническим расчётом. Использование предлагаемых технических решений по заправке бака для хранения пенообразователя ПА, с применением стационарного вакуумного насоса, позволит сократить время приведения пожарной автоцистерны в готовность после пожара.

Выводы

В работе показано, что временные показатели мероприятий по восстановлению готовности ПА и оборудования определяют готовность пожарной техники для тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ (АСР).

Проведен анализ способов заполнения пенообразователем пенобака ПА, который показал, что для заполнения бака объемом 200 л требуется: 2-3 часа – при переливе из емкости в емкость (способ 1); 9 мин – самотеком (способ 2) – с применением самодельных технических приспособлений; 4–5 мин с применением промежуточного насоса (способ 3).

Операция по заправке пенобака является самой продолжительной и приводит к увеличению времени восстановления готовности ПА после пожара. Установлено, что при заполнении пенобака пенообразователем про-

исходит пенообразование, которое выражается в снижении использования полезного объема бака, нарушении регламента обслуживания ПА при возвращении в пожарно-спасательную часть, увеличении потерь перекачиваемой жидкости, а также в неблагоприятном воздействии на элементы и оборудования ПА.

Показано, что для уменьшения вспенивания пенообразователя при наполнении пенобаков ПА наиболее эффективными и гибкими являются физические методы. Сравнительный анализ возможных способов заполнения показал, что использование промежуточных насосов для перекачки является эффективным. Предлагается использовать насосы, создающие ламинарный поток жидкости при перекачке, к таким агрегатам относятся насосы объемного действия. Однако, применение

В работе обосновано техническое решение по заполнению бака для хранения пенообразователя с использованием стационарного вакуумного агрегата пожарных автомобилей. Экспериментальные значения по наполнению бака для хранения пенообразователя на ПА при использовании стационарного вакуумного насоса показали, что среднее время заполнения равно 4,25 мин.

Список литературы

1. Теребнев В. В. Ульянов Н. И., Грачев В. А. Пожарная техника. Кн. 1. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. М.: Центр Пропаганды, 2007. 328 с.
2. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. М.: Пожнаука, 2005. 335 с.
3. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: Свойства применение. 2-е изд., перераб. и доп. Л: Химия, 1981. 304 с.
4. Лутфуллина Г. Г., Зиннатуллина З. А. О возможности регулирования пенообразующей способности композиций ПАВ // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 15. С. 197–199.
5. Ковалев В. Н., Петренко Д. С. Технология производства синтетических моющих средств. М. Химия, 1992. 272 с.
6. Гидравлика, гидромашины и гидропривод / Артемьева Т. В., Лысенко Т. М. [и др.]. М.: «Академия», 2008. 208 с.
7. Юрьева А. В. Расчёт вакуумных систем. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 114 с.

References

1. Terebnev V. V. Ul'yanov N. I., Grachev V. A. *Pozharnaya tekhnika* [Fire engineering]. Part 1. Pozharno-tekhnicheskoe vooruzhenie. Ustrojstvo i primeneniye [Fire and technical weapons. Device and application]. Moscow: Centr Propagandy, 2007, 328 p.
2. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foaming agents and fire fighting foams. Composition, properties, application]. Moscow.: Pozhnauka, 2005, 335 p.
3. Abramzon A. A. *Poverhnostno-aktivnye veshchestva: Svoystva primeneniye* [Surfactants: Properties application]. 2-e izd., pererab. i dop. Leningrad: Himiya, 1981, 304 p.
4. Lutfullina G. G., Zinnatullina Z. A. O vozmozhnosti regulirovaniya penoobrazuyushchej sposobnosti kompozicij PAV [On the possibility of regulating the foaming capacity of surfactant compositions]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol.18, issue 15, pp. 197–199.
5. Kovalev V. N., Petrenko D. S. *Tekhnologiya proizvodstva sinteticheskikh moyushchih sredstv* [Production technology of synthetic detergents]. Moscow: Himiya, 1992, 272 p.

6. *Gidravlika, gidromashiny i gidropnevmoprivod* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic pneumatic drive] / T. V. Artem'eva, T. M. Lysenko [et al.]. Moscow: «Akademiya», 2008, 208 p.

7. Yur'eva A. V. *Raschyot vakuumnyh system* [Calculation of vacuum systems]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2012, 114 p.

Семенов Андрей Дмитриевич

ФГБОУ ВО 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.

Бочкарев Артем Николаевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель
E-mail: pogarnik1_artem@mail.ru.

Bochkarev Artem Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
senior lecturer
E-mail: artem_bochkarev_82@bk.ru

Кнутов Максим Сергеевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель
E-mail: knutov-vv@mail.ru.

Knutov Maxim 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
lecturer
E-mail: knutov-vv@mail.ru

УДК 614.843

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЁТА СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

Е. А. СУШКО¹, Д. В. КАРГАШИЛОВ², А. В. КУЗОВЛЕВ³
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
Российская Федерация, г. Воронеж
E-mail: u00075@vgasu.vrn.ru, kargashil@mail.ru, kuzovlevav@mail.ru

В статье рассматривается вопрос особенностей разработки планов тушения пожара на основе прогноза вероятного места возникновения пожара, возможных ситуаций его развития, также рассмотрены решения для определения количества сил и средств для тушения конкретного пожара. На основании результатов проведенных исследований и расчетов предлагается техническое решение для повышения эффективной работы пожарного оборудования. В статье представлены технические характеристики рукавных разветвлений.

Ключевые слова: пожар, горение, пожарное оборудование, огнетушащие вещества, напор.

ABOUT FEATURES OF CALCULATION OF FORCES AND MEANS AT FIRE EXTINGUISHING

E. A. SUSHKO¹, D. V. KARGASHILOV², A. V. KUZOVLEV³
«Voronezh state technical University»,
Russian Federation, Voronezh
E-mail: u00075@vgasu.vrn.ru, kargashil@mail.ru, kuzovlevav@mail.ru

The article discusses the specifics of developing fire extinguishing plans based on the forecast of the likely location of the fire, possible situations of its development, and also considers solutions for determining the amount of forces and means to extinguish a particular fire. Based on the results of research and calculations, a technical solution is proposed to improve the efficiency of fire equipment. The article presents the technical characteristics of sleeve branches.

Key words: fire, gorenje, fire equipment, fire extinguishing agents, pressure.

В современном мире инфраструктура большинства городов очень развита и имеет сложную структуру. Большое количество мест с массовым пребыванием людей, с ночным пребыванием людей, промышленных и энергетических объектов, и это еще не весь список опасных объектов, пожар в которых может привести к большим человеческим и материальным потерям. И чтобы быстро и максимально эффективно принять необходимые меры в случае пожара, разрабатываются документы предварительного действий по тушению пожаров. Самым главным пунктом в разработке планов тушения пожара является прогноз вероятного места возникновения наиболее сложного пожара и возможных ситуаций его развития. При прогнозировании составляется не менее 2 вариантов возникновения и развития пожара.

Требуемое количество огнетушащих веществ (ОВ) для успешного тушения определяется путем умножения площади тушения на требуемую интенсивность подачи ОВ. Этот параметр можно подобрать исходя из функциональной принадлежности здания, либо отталкиваясь от пожарной нагрузки (что является более правильным и точным), правда зачастую не представляется возможным найти значения интенсивности для конкретного материала. А если на одной площади находятся разные материалы и вещества, то интенсивность берется по максимальному значению того, что может гореть в помещении.

Зная это, мы находим необходимое количество сил и средств для тушения конкретного пожара. Но в реальности получается по-другому, и все это происходит из-за неточности расчетов и округления. Дело в том, что, округляя площадь пожара до простой фигуры мы увеличиваем площадь пожара, но вместе с этим мы уменьшаем длину фронта тушения, вследствие чего уменьшается требуемое ко-

личество подачи огнетушащих веществ. И это ведет к большим потерям. Поэтому площадь пожара нужно считать более точно, не округляя её до простой фигуры для упрощения расчетов, а использовать знания геометрии для исключения неточностей в расчетах пожара, от которых может зависеть жизнь людей и материальный убыток.

Используя найденные параметры площади пожара, площади тушения и требуемого расхода подачи ОВ, определяются приборы тушения и их количество. Но именно перед этим пунктом необходимо учитывать такие параметры пожара, как среднеобъемная температура и степень задымления.

На практике такие расчеты не проводятся и внимание окружающей среде, в которой оказываются участники тушения пожара, не уделяется. Все это ведет к невозможности использования приборов тушения личным составом на определенной территории, вследствие чего смысл всех предварительных расчетов сводится к нулю. При горении некоторых веществ температура может быть выше 1000°C, а боевая одежда пожарного (БОП) имеет определенные ограничения по устойчивости к температуре.

Очевидно, что даже I класс защиты БОП не может обеспечить безопасное нахождение пожарного в помещении с высокой температурой, поэтому пользуясь нормативными документами необходимо определить среднеобъемную температуру и степень задымления на позиции ствольщиков, прежде чем обозначить их.

Зная это, мы наиболее точно сможем определить приборы тушения, необходимые для локализации пожара и обеспечить безопасность участников тушения выбранной модели пожара.

Количество сил и средств при выполнении пожарно-тактических расчетов зависти от многих факторов, в том числе от используемого оборудования. Рассмотрим вопрос потери напора в разветвлениях.

Рукавные разветвления – инструмент для регулировки водного потока. Разделение водного потока, который подается для тушения пожара, а также регулировка его количества – главная функциональная «обязанность» рукавных разветвляющих деталей. Технические параметры позволяют использовать данные устройства в любом возможном климатическом поясе: умеренном, арктическом и тропическом.

В зависимости от того, сколько нужно разветвлений, необходимо выбирать модель с определенным количеством выходных каналов для максимально эффективной работы пожарного оборудования. Рукавные разветвляющие детали, равно, как и все остальные детали пожарных конструкций, должны производиться согласно профильным государственным стандартам, которые применимы для такой продукции.

К основным требованиям разветвлений рукавов относятся следующие: устойчивость к гидравлическому давлению не хуже 1,9 МПа (РТ-70 и РТ-80) и 1,3 МПа (РЧ-150). Поверхностные повреждения, трещины, сколы, царапины и прочие дефекты на разветвлениях полностью исключаются. Трехходовое разветвление может работать одновременно с тремя или меньшим количеством выкидных рукавных линий. Вентили клапанного устройства открываются нормальным усилием одного человека.

На пожаре активно используют 3-ходовые разветвления для регулировки потока огнетушащего вещества (рисунок).

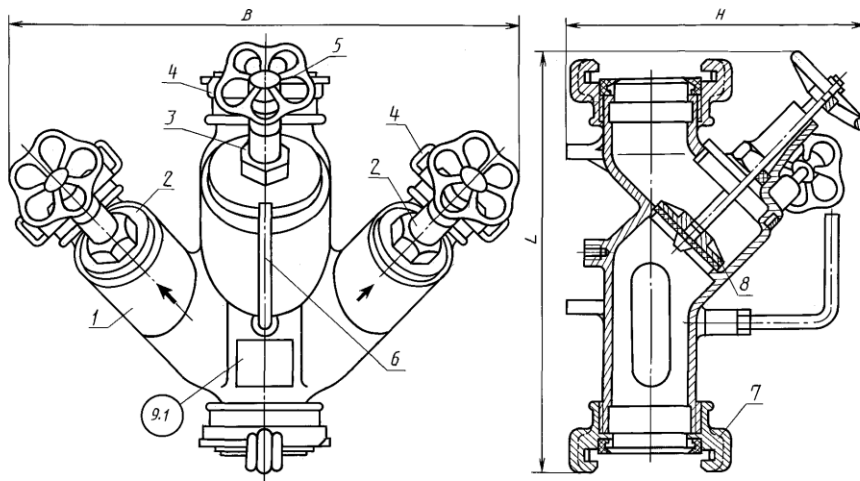


Рисунок. Схема 3-ходового разветвления
 1 – корпус;
 2 – перекрывающее устройство бокового выходного патрубка;
 3 – перекрывающее устройство центрального выходного патрубка;
 4 – соединительная головка на выходном патрубке; 5 – маховик;
 6 – ручка; 7 – соединительная головка на входном патрубке;
 8 – затворный клапан

При построении насосно-рукавных систем (НРС) может быть использовано до 3-х разветвлений, поэтому необходимо точно знать потери напора, которые создаются, для выбора наиболее эффективной НРС при тушении пожара¹. Для определения потери напора в местных сопротивлениях h_m нужно воспользоваться формулой Вейсбаха:

$$h_m = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

где: ζ – коэффициент местного сопротивления; V – скорость потока за местным сопротивлением.

Коэффициент местного сопротивления находится опытным путем, но для рукавных разветвлений он уже определен² [1] (таблица).

Остается найти скорость потока за местным сопротивлением V^2 , определяем её с помощью следующей формулы:

$$V = \frac{Q}{\omega}, \quad (2)$$

где: Q – это объемный расход (пропускная способность), которая для рукава диаметром 77 мм равна 23,3 л/с, а для рукава диаметром 51 мм равна 10,2 л/с; ω – площадь сечения потока жидкости, для магистральной линии,

проложенной из рукавов диаметром 77 мм и рабочей из 51 мм. Эта переменная принимает значения согласно формуле:

$$\omega_{77} = \pi \cdot R^2, \quad (3)$$

$$\omega_{77} = \pi \cdot \left(\frac{0,077}{2}\right)^2 = 0,00466 \text{ м}^2;$$

$$\omega_{51} = \pi \cdot \left(\frac{0,051}{2}\right)^2 = 0,00204 \text{ м}^2;$$

$$V_{77} = \frac{23,3 \cdot 10^{-3}}{0,00466} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$V_{51} = \frac{10,2 \cdot 10^{-3}}{0,00204} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Видим, что скорость движения жидкости не меняется, значит, потери напора на разветвлении будут зависеть только от коэффициента гидравлического сопротивления.

Теперь подставляя все неизвестные в формулу 1, находим потери напора на разветвлении РТ-80:

$$h_m = 1,5 \frac{5^2}{2g} = 1,91 \text{ м}.$$

На разветвлении РТ-70:

$$h_m = 2 \frac{5^2}{2g} = 2,55 \text{ м}.$$

Таблица. Тактико-технические характеристики разветвлений

Наименование параметра	Значение для типоразмера		
	РТ-70	РТ-80	РЧ-150
Условный проход входного патрубка, мм	70	80	150
Рабочее давление, МПа, не более	1,2	1,2	0,8
Число выходных патрубков	3	3	4
Условный проход выходного патрубка, мм:			
Центрального	70	80	-
Бокового	50	50	80
Коэффициент гидравлического сопротивления, не более	2	1,5	6
Габаритные размеры, мм, не более:			
Длина	320	375	450
Ширина	390	465	470
Высота	270	280	320
Масса, кг, не более	5,3	6,3	19,0

Делая вывод, можно сказать, что, составляя НРС, где учитывается потеря напора на разветвлении в 10 м.вод.ст. допускается ошибка и эта погрешность приводит к тому, что

¹ ГОСТ Р 50400-92 «Разветвления рукавные. Технические условия» (утв. постановлением Госстандарта РФ от 23 ноября 1992 г. № 1501).

² ГОСТ Р 50400-92 «Разветвления рукавные. Технические условия» (утв. постановлением Госстандарта РФ от 23 ноября 1992 г. № 1501).

некоторые эффективные насосно-рукавные системы не используют, что заставляет задействовать больше сил и средств при выполнении пожарно-тактических расчетов [2].

Невозможно сделать идеальный расчет развития пожара. Поведение огня зависит от множества факторов и имеет огромное количество вариантов, но мы должны стремиться как можно точнее определить масштабы происшествия для его эффективной ликвидации.

Список литературы

1. Mathematical modeling of the fire within the premise equipped by the system of antis-moke ventilation / A. V. Kalach, A. P. Parshina, A. V. Oblenko [et al.]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, С. 032023.
2. Моделирование процесса формирования энергетических зон суммарного риска от стационарных и подвижных потенциально опасных объектов / В. В. Тютюник, Ю. С. Чапля, А. Н. Соболев [и др.] // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11–4. С. 799–803.
3. Иванников П. В., Ключ П. П. *Справочник руководителя тушения пожаров*. М.: Стройиздат, 1987, 288 с.
4. Теребнёв В. В. *Справочник РТП. Тактические возможности пожарных подразделений*. М.: Пожарная книга, 2004. 248 с.
5. Теребнев В. В., Подгрушный А. В. *Пожарная тактика. Основы тушения пожара*. Екатеринбург: Издательство «Калан», 2008. 512 с.

Сушко Елена Анатольевна
 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
 Российская Федерация, г. Воронеж
 кандидат технических наук, доцент
 E-mail: u00075@vgasu.vrn.ru
Sushko Elena Anatolyevna
 Voronezh state technical University»,
 Russian Federation, Voronezh
 candidate of technical sciences, associate professor
 E-mail: u00075@vgasu.vrn.ru

Каргашилов Дмитрий Валентинович
 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
 Российская Федерация, г. Воронеж
 кандидат технических наук, доцент
 E-mail: kargashil@mail.ru
Karasyov Dmitry Valentinovich
 Voronezh state technical University»,
 Russian Federation, Voronezh
 candidate of technical Sciences, associate Professor
 E-mail: kargashil@mail.ru

Кузовлев Алексей Викторович
 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
 Российская Федерация, г. Воронеж
 обучающийся по программе магистратуры
 E-mail: kuzovlevav@mail.ru
Kuzovlev Alexey Viktorovich
 Voronezh state technical University»,
 Russian Federation, Voronezh
 master's degree

References

1. Mathematical modeling of the fire within the premise equipped by the system of antis-moke ventilation / A. V. Kalach, A. P. Parshina, A. V. Oblenko [et al.]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, С. 032023.
2. Modelirovaniye processa formirovaniya energeticheskikh zon summarnogo riska ot stacionarnykh i podvizhnykh potencial'no opasnykh ob"ektov [Modeling the process of forming energy zones of total risk from stationary and mobile potentially dangerous objects] / V. V. Tyutyunik, Yu. S Chaplya, A. N. Sobol [et al.]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, issue 11-4. pp. 799–803.
3. Ivannikov P. V., Klyus P. P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozharov* [Directory of the head of fire extinguishing]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 288 p.
4. Terebnev V. V. *Spravochnik RTP. Takicheskie vozmozhnosti pozharnykh podrazdelenij* [Handbook of RTP. Tactical capabilities of fire departments]. Moscow: Fire book, 2004, 248 p.
5. Terebnev V. V., Podgruchny A. V. *Pozharnaya taktika. Osnovy tusheniya pozhara* [firefighting tactics. Basics of fire fighting]. Ekaterinburg: Kalan publishing house, 2008. 512 p.

УДК 542.8

ИССЛЕДОВАНИЕ КОПОТИ ПРИ ГОРЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЦЕЛЯХ СУДЕБНОЙ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Н. А. ТАРАТАНОВ, О. Е. СТОРОНКИНА, Т. А. МОЧАЛОВА

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

E-mail: taratanov_n@mail.ru, oleg1968@mail.ru, mihailmochalov@mail.ru

Установление причины пожара связано с рядом трудностей, таких, как сложность самого проявления пожара, так и уничтожение при горении данных, способствующих изучению причин его возникновения. В настоящее время разработаны методики, позволяющие получать необходимую для реконструкции пожара экспертную информацию. Но все-таки проблема получения объективных данных, необходимых для восстановления картины возникновения и развития горения не решена до конца, особенно если предметы обстановки уничтожены и удалены с места пожара.

В работе рассмотрена возможность исследования экстрактивных компонентов копоти, полученной при сжигании нефтепродуктов, методом флуоресцентной спектроскопии, для получения информации, способствующей восстановлению картины процесса возникновения и развития пожара при проведении пожарно-технических экспертиз.

Ключевые слова: копоть, флуоресцентная спектроскопия, интенсификаторы горения, пожарно-техническая экспертиза.

RESEARCH OF THE COPY DURING THE COMBUSTION OF PETROLEUM PRODUCTS BY THE METHOD OF FLUORESCENT SPECTROSCOPY FOR THE PURPOSE OF FORENSIC FIRE EXPERTISE

N. A. TARATANOV, O. E. STORONKINA, T. A. MOCHALOVA

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

E-mail: taratanov_n@mail.ru, oleg1968@mail.ru, mihailmochalov@mail.ru

Establishing the cause of the fire is associated with a number of difficulties, such as the complexity of the manifestation of the fire itself, and the destruction of data during combustion that facilitates the study of the causes of its occurrence. Currently, methods have been developed that allow obtaining expert information necessary for reconstruction of a fire. But all the same, the problem of obtaining objective data necessary to restore the picture of the occurrence and development of combustion has not been fully resolved, especially if the objects of material furnishings are destroyed and removed from the place of the fire.

The paper considers the possibility of studying the extractive components of soot obtained during the combustion of petroleum products using the method of fluorescence spectroscopy, to obtain information that helps to restore the picture of the process of the occurrence and development of a fire during fire-technical expertise.

Key words: soot, fluorescence spectroscopy, combustion intensifiers, fire-technical expertise.

Установлению причастности к возникновению пожаров посвящено достаточное количество работ, в результате которых созданы и применяются на практике соответствующие

экспертные методики, то возможности дифференциации поджога и загорания при разливе нефтепродуктов изучены явно недостаточно. Так при установлении причин и условий возникновения пожаров, в экспертной практике приходится выявлять наличие и природу происхождения следов легковоспламеняющихся

(ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей на объектах-носителях, выявленных и изъятых с места пожара [1].

В случаях, когда объекты исследования могут быть повреждены или удалены с места пожара, актуальным становится выявление и диагностика следов нефтепродуктов в отложениях копоти (сажи) на сохранившихся конструкциях и предметах.

Поэтому предпосылкой для проведения нашего эксперимента стало то, что испарившиеся компоненты горючих жидкостей, вовлекаемые в конвективные потоки, могут захватываться сажевыми частицами, обладающими высокой сорбционной способностью. Отложения копоти присутствуют практически на любом пожаре, однако в настоящее время копоть крайне ограниченно используется в качестве источника экспертно-значимой информации о пожаре и его развитии.

В России и за рубежом пожарно-техническими экспертами делались следующие попытки:

- определить природу сгоревших материалов по структуре и составу копоти [2-6],
- выявить в зоне горения этилированные топлива по присутствию в копоти свинцового химического соединения [7],
- обнаружить следы неэтилированных нефтепродуктов в частицах сажи [8].

При оседании частиц сажи в виде копоти на конструктивных элементах зданий, абсорбированные следы ЛВЖ и ГЖ могут сохраняться в них и быть выявленными. Для проверки этого предположения нами был проведен ряд экспериментов.

На первоначальном этапе исследования нами преследовалась цель, заключающаяся в возможности выявления следов ЛВЖ и ГЖ в отложениях копоти, осаждающихся в различных температурных зонах на путях распространения конвективных потоков.

На втором этапе исследования планируется установление особенностей состава копоти, в зависимости от горючей нагрузки, условий и температуры пиролиза.

В качестве объектов исследования выступали дизельное топливо марки ЕВРО, Сорт С, вид III (ДТ-Л-К5) и автомобильный бензин экологического класса К5 марки АИ-92-К5 приобретенные на автозаправочной станции «Газпромнефть» (производитель АО «Газпром нефть-терминал»), так как данные нефтепродукты являются одними из наиболее распространенных и доступных.

Для проведения исследования были изготовлены металлические пластины, размером 20×20 см, на которые впоследствии осаждалась копоть. Далее АИ-92 и дизельное топливо

сжигали в установке, которая представляет собой металлическую камеру, оборудованную термopарами для фиксации температуры в различных ее точках. Внутри камеры помещали металлический поддон, в который наливали, с последующим сжиганием, бензин и ДТЛ в объеме 50 мл. Для осаждения копоти металлические пластины размещали таким образом, что одна была внутри камеры непосредственно вблизи очага, на расстоянии в 50 см. Снаружи макета располагалось приспособление для горизонтального крепления поверхностей осаждения. Температуру металлических пластин, расположенных внутри и снаружи камеры, фиксировали с помощью термopар. Нефтепродукты выжигались до момента полного прекращения горения, т.е. на 99,9 %.

Пробоподготовка образцов для дальнейшего исследования осуществлялась следующим образом. Экстракты растворимых компонентов копоти смывали с поверхности металлических пластин с использованием ватного диска, обильно смоченного гексаном. Затем ватные диски со следами копоти нарезали (измельчали) и помещали в коническую колбу с гексаном. По итогу экстрагирования проводили фильтрацию экстрактов через фильтровальную бумагу в чистые бюксы. Из полученного раствора отбирали 10 мкл, помещали в кювету спектрометра, туда же добавляли 3 мл гексана и проводили исследование. Метод флуориметрии, обычно не требует концентрирования экстракта.

Для выявления и установления остатков ЛВЖ и ГЖ с места пожара часто используются в экспертной практике химические, хроматографические или спектральные методы исследования. Применение этих методов обусловлено тем, что выгорание инициаторов горения сопровождается значительным изменением их качественного и количественного состава. Наиболее быстрый, простой и достаточно чувствительный метод исследования экстрактов на наличие ЛВЖ и ГЖ – метод флуоресцентной спектроскопии, основанный на способности ароматических структур люминесцировать под воздействием света в видимой и ультрафиолетовой области спектра.

Снятие спектров флуоресценции с полученных экстрактов осуществляли с помощью спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама» [9]. Спектры флуоресценции на приборе формируются с помощью монохроматора последовательной сменой длины волны возбуждающего света и фиксации люминесценции при длине волны, большей, чем диапазон длин волн возбуждения. При съемке использовался режим сканирования по регистрации: при длине волны возбуждения – 250 нм, диапазон

длин волн люминесценции 270–470 нм. Типичные спектры флуоресценции исследованных объектов представлены на рис. 1 и 2.

При проведении спектральных исследований экстрактов образцов копоти, собранной с поверхности металлических пластин, расположенных внутри камеры и имеющие температуру более 200–250 °С (рис. 1, образец 1), имели максимумы при длинах волн 280–300, 330–380 нм. Максимум флуоресценции в диапазоне 330–380 нм соответствует наличию в экстракте алкилзамещенных ароматических гомологов бензола. Наличие растянутого максимума возбуждения люминесценции в диапазоне 320–380 нм (рис. 1, образец 2), подтверждает то, что пластины подверглись высокому температурному воздействию, но не более 150–200 °С, на что указывают пики флуоресценции при 405 и 430 нм.

Спектры экстрактов копоти, осаждавшейся на более холодной поверхности (на металлические пластины, расположенные снаружи камеры сгорания ~60 °С) имели несколько четко выраженных максимумов возбуждения флуоресценции при длинах волн 300–340, 360, 380, 405 и 435 нм (рис. 1, образец 3). Выяв-

ленные изменения характера флуоресценции у выгоревшего ДТЛ обусловлены, скорее всего, накоплением в их составе продуктов термического окисления, таких как гидроксил-, карбонил- и карбоксилсодержащие соединения [10].

Следующим этапом работы явилось исследование экстрактов копоти при сгорании бензина АИ-92-К5. При обработке спектров экстрактов образцов копоти, осаждавшейся на поверхность металлических пластин внутри макета (рис. 2, образец 1) с температурой менее 200 °С максимумы располагались в диапазоне 370–390 нм. Интенсивности флуоресценции экстракта образца копоти, собранной с поверхности пластины внутри макета (рис. 2, образец 2), имеющей температуру более 200 °С (рис. 1, образец 2) располагались в диапазоне 280–300 нм и 320–390 нм.

А экстракты копоти, осаждавшейся на холодную поверхность (~60 °С) имели два четко выраженных максимума возбуждения флуоресценции при длинах волн 405 и 435 нм. Это связано с наличием в экстрактах окисленных структур (405 нм) и смолистых компонентов (435 нм) (рис. 2, образец 3).

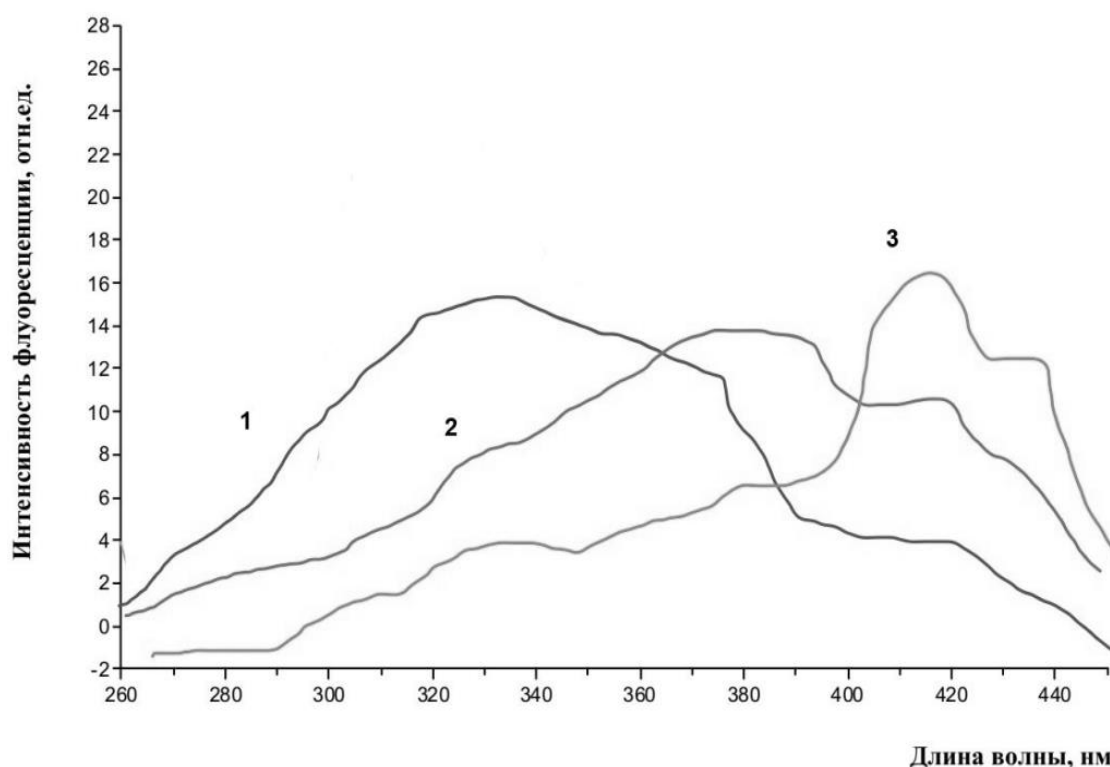


Рис. 1. Спектр флуоресценции экстракта копоти, содержащей следы дизельного топлива марки ЕВРО, Сорты С, вид III (ДТ-Л-К5): образец 1 – смытой с металлической пластины, расположенной внутри камеры (вблизи очага); образец 2 – смытой с металлической пластины, расположенной внутри камеры (вдали от очага); образец 3 – смытой с металлической пластины, расположенной снаружи камеры

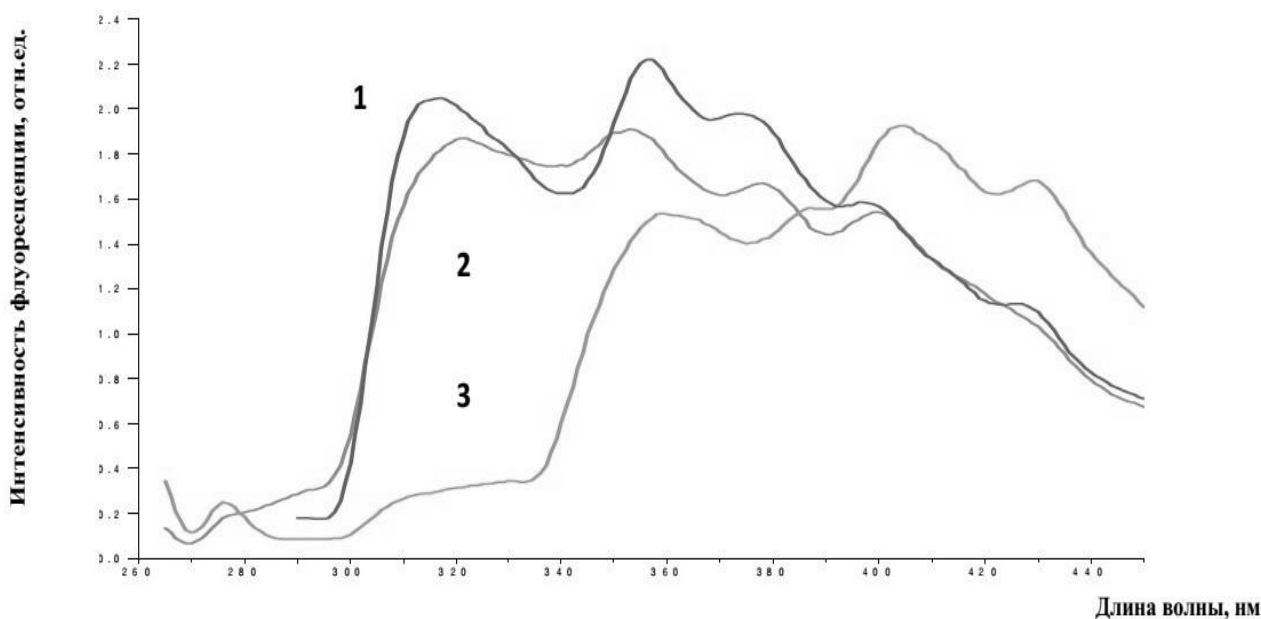


Рис. 2. Спектр флуоресценции экстракта копоти, содержащей следы неэтилированного бензина АИ-92-К5: образец 1 – смытой с металлической пластины, расположенной внутри камеры (вдали от очага); образец 2 – смытой с металлической пластины, расположенной внутри камеры (вблизи очага); образец 3 – смытой с металлической пластины расположенной снаружи камеры

Выявленные экспериментально особенности химического состава экстрактов копоти при сгорании нефтепродуктов имеют весьма информативный характер, так как демонстрируют возможность выявления и диагностики следов ЛВЖ и ГЖ, оседающих с сажевыми частицами на холодных поверхностях.

И, несмотря на то, что это первая серия экспериментов является предварительной в ходе решения основной задачи, ее результаты приобрели самостоятельное значение и могут быть использованы при проведении пожарно-технических экспертиз ряда пожаров.

Список литературы

1. Исследование спектральных и хроматографических данных нативных и выгоревших нефтепродуктов, распространяющихся на территории Ивановской области / В. А. Ненаездникова, А. А. Воронцова, Н. А. Таратанов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны. Иваново, 2016. С. 119–124.
2. Демидов П. Г., Шандыба В. А., Щеглов П. П. Горение и свойства горючих веществ. М.: Химия, 1981. 263 с.
3. Хван Е. А. Исследования физико-химических свойств древесного дыма // Труды ВНИРО. 1970. Т. 73. С. 102–121.
4. Кулев Д. Х. Опасность продуктов горения полимерных материалов // Обзорная информация. М.: ВНИИПО, 1983. 23 с.

5. Исследование процесса обугливания древесины при горении и изучение свойств обугленных остатков. 1. Кинетика обугливания древесины / И. Д. Чешко, Б. С. Егоров, А. А. Леонович [и др.]. Л.: Химия древесины, 1986. С. 89–93.
6. Lee L. Mechanism of thermal degradation of phenolic condensation polymers. Part 2 *Polymer Sci.*, 1965, vol. 3, issue 3. pp. 859–882.
7. Обнаружение следов этилированных бензинов при исследовании вещественных доказательств, изъятых с места пожара // Отчет о НИР. Новосибирск: ПТС УПО, 1977. 185 с.
8. Мадорский С. Л. Термическое разложение органических полимеров. М.: Наука, 1969. 192 с.
9. Аксенов А. А., Воронцова А. А., Таратанов Н. А. Исследование нативных и выгоревших нефтепродуктов спектрофлуориметрическим методом // Пожарная и аварийная без-

опасность: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны. Иваново, 2017. С. 4–7.

10. Галишев М. А., Дементьев Ф. А., Медведев А. Ю. Исследование отложений копоти на строительных конструкциях после пожара // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: материалы международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 28 ноября 2019 г. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Центр деловых коммуникаций «КОНТАКТ», 2019. С. 104–109.

References

1. Issledovanie spektral'nyh I hromatograficheskikh dannyh nativnyh I vygorevshih nefteproduktov, rasprostranyushihysya na territorii Ivanovskoi oblasti [Investigation of spectral and chromatographic data of native and burnt oil products spreading in the Ivanovo region] / V. A. Nenaezdnikova, A. A. Voroncova, N. A. Taratanov [et al.]. *Pozharnaya i avarinaya bezopasnost': sbornik materialov XI Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashennoy Godu pogarnoy ohrany*. Ivanovo, 2016, pp. 119–124.

2. Demidov P. G., Shandiba V. A., Sheglov P. P. *Gorenie I svoystva goruchih veshestv* [Combustion and properties of combustible substances]. Moscow: Himiya, 1981. 263 p.

3. Hvan E. A. Issledovanie fiziko-himicheskikh svoystv drevesnogo dyma [Studies of the physicochemical properties of wood smoke]. *Trudy VNIRO*, 1970, issue 73, pp. 102–121.

4. Kulev D. H. *Opasnost' produktov goreniy polimernyh materialov* [Danger of combustion products from polymeric materials]. *Obzornay informaciya*, Moscow: VNIPO, 1983, 23 p.

5. *Issledovanie processa obuglivaniy drevesiny pri goreniy I izuchenie svoystv obuglen-*

nyh ostatkov. 1. *Kinetika obuglivaniy drevesine* [Investigation of the process of wood charring during combustion and study of the properties of charred residues. 1. Kinetics of wood charring] / I. D. Cheshko, B. S. Egorov, A. A. Leonovich [et al.]. Leningrad: Himiya drevesiny, 1986, pp. 89–93.

6. Lee L. Mechanism of thermal degradation of phenolic condensation polymers. Part 2 *Polymer Sci.*, 1965, vol. 3, issue 3, pp. 859–882.

7. *Obnaruzhenie sledov etilirovannyh benzinov pri issledovanii veshestvennyh dokazatel'stv, iz'ytyh s mesta pogara* [Detection of traces of leaded gasoline in the examination of material evidence seized from the fire site]. Novosibirsk: Otchet PTS UPO, 1977, 185 p.

8. Madorskiy S. L. *Termicheskoe razlogenie organicheskikh polimerov* [Thermal decomposition of organic polymers]. Moscow: Nauka, 1969, 192 p.

9. Aksenov A. A., Voroncova A. A., Taratanov N. A. Issledovanie nativnyh I vygorevshih nefteproduktov spektrofluometricheskim metodom [Investigation of native and burnt oil products by spectrofluorimetric method]. *Pozharnaya i avarinaya bezopasnost': sbornik materialov XII Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashennoy Godu grazdanskoy oborony*. Ivanovo, 2017, pp. 4–7.

10. Galishev M. A., Dement'ev F. A., Medvedev A. U. Issledovanie otlogeniya kopoti na stroitel'nykh konstrukciykh posle pogara [Investigation of soot deposits on building structures after a fire]. *Pozharnaya bezopasnost' ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva. Normativy, proektirovanie, ustrojstvo i ekspluatatsiya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Sankt-Peterburg, 28 noyabrya 2019 g., Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy universitet of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies Russia, centr delovykh kommunikatsiy «Kontakt», 2019, pp. 104–109.

Таратанов Николай Александрович

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

кандидат химических наук, доцент кафедры

E-mail: taratanov_n@mail.ru

Taratanov Nikolay Alexandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: taratanov_n@mail.ru

Сторонкина Ольга Евгеньевна

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

кандидат химических наук, доцент кафедры

E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina O'l'ga Evgen'evna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: oleg1968@mail.ru

Мочалова Татьяна Александровна

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

кандидат биологических наук, заместитель начальника кафедры

E-mail: mihailmochalov@mail.ru

Mochalova Tat'jana Aleksandrovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of biological sciences, deputy head of department

E-mail: mihailmochalov@mail.ru

УДК 614.841.411

ВОПРОСЫ ПРИДАНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛАМ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ И ПОЛИАМИДНЫХ ВОЛОКОН С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

**А. С. ФЕДОРИНОВ¹, О. И. ОДИНЦОВА², Е. Л. ВЛАДИМИРЦЕВА²,
С. В. СМИРНОВА², Р. Н. ДЕМИДОВ², В. С. ШИЛКИНА²**

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

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

E-mail: a.fedorinov@yandex.ru, odolga@yandex.ru, elvladimirtseva@mail.ru, smirnovasv1961@mail.ru

В представленной работе проанализированы пожароопасные свойства и характер горения текстильных материалов из хлопкового и полиамидного волокон. Представлены испытания эффективности огнестойкой отделки целлюлозо- и полиамидсодержащих текстильных материалов препаратами российского производства на основе водорастворимых азотфосфорсодержащих соединений. Доказана эффективность использования ортофосфорной кислоты в качестве синергической добавки при огнезащитной отделке материалов препаратами торговой марки «Фламентол». Для огнезащитной отделки целлюлозосодержащих и полиамидсодержащих материалов разработаны эффективные композиции. Определены оптимальные концентрационные и температурно-временные параметры их использования.

Ключевые слова: пожарная опасность, текстильные материалы, целлюлозное волокно, полиамидное волокно.

QUESTIONS OF GIVING FIRE RESISTANCE TO MATERIALS FROM CELLULOSE AND POLYAMIDE FIBERS WITH THE APPLICATION OF DOMESTIC PREPARATIONS

**A. S. FEDORINOV¹, O. I. ODINTSOVA², E. L. VLADIMIRTSEVA²,
S. V. SMIRNOVA², R. N. DEMIDOV², V. S. SHILKINA²**

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

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

E-mail: a.fedorinov@yandex.ru, odolga@yandex.ru, elvladimirtseva@mail.ru, smirnovasv1961@mail.ru

In the presented work, the fire hazardous properties and the nature of combustion of textile materials made of cotton and polyamide fibers are analyzed. Tests of the effectiveness of fire-resistant finishing of cellulose and polyamide-containing textile materials with Russian-made preparations based on water-soluble nitrogen-phosphorus-containing compounds are presented. The efficiency of using o-phosphoric acid as a synergistic additive in the fire retardant finishing of materials with preparations of the Flamentol trademark has been proven. Effective compositions have been developed for fire retardant finishing of cellulose-containing and polyamide-containing materials. The optimal concentration and temperature-time parameters of their use have been determined.

Key words: fire hazard, textile materials, cellulose fiber, polyamide fiber.

Введение

Текстильные материалы используются во всех отраслях промышленности и в быту, являются неотъемлемой частью интерьера объектов жилищного, производственного и социально-культурного назначения. Выпускаемые промышленностью ткани, волокна, нетканые материалы в большинстве случаев легко воспламеняемые и горючие. Статистические данные свидетельствуют о том, что ежегодно в России происходит более 130 тысяч пожаров, приводящих к гибели 7–9 тыс. людей [1]. Частой причиной возникновения пожаров в жилых помещениях является возгорание одежды и элементов декора из текстиля.

В настоящее время систематическое повышение качества и безопасности текстильных материалов является одной из актуальных задач. Во многих случаях возникает потребность придать текстилю огнестойкие свойства.

Чтобы сократить потери материальных и людских ресурсов, ткани подвергают огнезащитной отделке.

Повысить устойчивость к огню текстильных материалов можно двумя путями:

1) создавая огнестойкие волокнообразующие полимеры, при добавлении в их состав веществ, препятствующих воспламенению и горению

2) обрабатывая материалы – волокна или ткани – водными растворами специальных препаратов – антипиренов.

Первый вариант характерен для химических волокон. Таким образом был получен ряд негорючих материалов. Однако в этом случае существует проблема ухудшения каче-

ственных характеристик волокнообразующих полимеров и, в первую очередь снижение физико-механических показателей. Этот эффект связан с особенностью структуры волокнистых полимерных материалов, в частности с их чувствительностью к внесению посторонних примесей, которые могут негативно влиять на прочностные показатели. Второй вариант более универсален и подходит как для натуральных, так и для химических волокнистых материалов. Простота и доступность этого способа привели к тому, что он наиболее часто используется в отделочном производстве. И проблема в этом случае заключается в правильном подборе препарата, который должен легко наноситься и прочно закрепляться на обрабатываемом материале, обеспечивая при этом необходимые качественные показатели отделки.

Ассортимент препаратов для этих целей постоянно обновляется и пополняется новыми разработками. При этом актуальным является замена дорогостоящих импортных препаратов на отечественные аналоги без снижения качественных показателей отделки.

Цель исследования заключалась в создании эффективных композиций для огнестойкой отделки целлюлозо- и полиамидсодержащих текстильных материалов различного назначения на основе отечественных антипиренов.

Материалы и методы исследования Объектами исследования служили текстильные материалы, отличающиеся волокнистым составом, поверхностной плотностью и функциональным назначением. Их характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1. Используемые в работе текстильные материалы

№	Ткань	Состав	Характеристика
1	Лен отбеленный	Лен 100 %	Отбеленный, арт. 2С64-ШР, поверхностная плотность 150 г/м ²
2	Авизент	Хл. 100 %	Суровый арт.6700, поверхностная плотность 393 г/м ²
3	Трикотажное полотно	ПА6:Хл. 75:25	Отбеленное, арт. ПЛ11-739, объемная плотность 739 г/м ³
4	Лента ЛТК-26-600	ПА66	Арт. С43; Толщина (мм) - 2,31, линейная плотность 65,8 г/м

Для огнезащитной отделки использовали препараты фирмы ООО «ХимТехника» серии Фламентол на основе водорастворимых соединений азота и фосфора (табл. 2).

Обработку проводили в соответствии с рекомендациями фирмы производителя. Образцы тканей обрабатывали водным раствором, содержащим антипирен, концентрацию которого варьировали от 100 до 200 г/л. Отжим ткани составил 90%. Пропитку и отжим повторяли два раза, имитируя действие трехвальной плюсовки. Сушку и последующую термо-

обработку вели при температуре нарастающей от 100 до 150 °С в течение 5–7 минут. Испытания огнестойкости образцов проводились вертикальном пламени газовой горелки в шкафу с индивидуальной вытяжкой в соответствии с п. 7.21 ГОСТ¹. Высота пламени составляла 30–40 мм. Пламя горелки защищено от движе-

¹ ГОСТ 11209-2014 «Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний».

ния воздуха. Образец ткани вводят пинцетом в пламя горелки вертикально таким образом, чтобы нижний узкий край полоски погрузился в огонь на 20 мм. Время выдерживания ткани в пламени составляло 20–30 с (в зависимости от требований, предъявляемых к огнестойкости образцов). Огнестойкость материалов контро-

лировали по времени остаточного горения и высоте обугливания без учета высоты пламени. Кроме того, оценивалось время прожига материала раскаленным металлическим стержнем при температуре 350 ± 5 °С.

Таблица 2. Препараты для огнестойкой отделки

№	Название	Характеристика
1	Фламентол НМ	На основе соединений аммония и фосфора. Мелкозернистый (с малыми гранулами) белый порошок. Растворяется в воде при интенсивном перемешивании
2	Фламентол С	На основе соединений аммония и фосфора. Препарат в жидком агрегатном состоянии. Легко растворим в воде, и не образует на поверхности маслянистых пятен или других заметных признаков
3	Фламентол ОС	На основе соединений аммония. Мелкозернистый (с малыми гранулами) белый порошок. Растворяется в воде при интенсивном перемешивании

Результаты исследования и их обсуждение

Выбор представленных в исследовании текстильных материалов не случаен и обусловлен тем, что все они в той или иной мере находят применение при оформлении мест общественного питания – кафе и ресторанов. Объекты отличаются природой волокнообразующего компонента и, следовательно, устойчивостью к огню. В литературе [2–4] несложно найти сведения о горючести текстиля различного волокнистого состава. Исходя из них, можно представить, что материалы, содержащие полиамидное волокно менее пожароопасны, чем целлюлозосодержащие: температура воспламенения у них в среднем 400 °С, что примерно на 100 °С выше, чем у целлюлозных материалов. Кислородный индекс (КИ) тоже несколько выше: для целлюлозного волокна он составляет 17–20 %, а для полиамидного – 20–23% [5]. Вместе с тем нельзя забывать про характер горения полиамидных текстильных материалов – при контакте с огнем волокно плавиться, что может усилить возникающие при пожаре травматические факторы.

Препараты Фламентол отечественного производства универсальны и предназначены для придания огнестойкой отделки широкому ассортименту текстильных материалов различного назначения. Отделку этими препаратами отличает низкая стоимость и достаточный уровень огнезащитности при сравнительно низком содержании химических веществ в текстильном материале. Тем не менее, проведенные эксперименты показали, что даже при высоких концентрациях они не всегда обеспечивают требуемый уровень огнестойкости выбранных текстильных материа-

лов. В первую очередь это касается образцов из полиамидного волокна, которые, несмотря на отделку, моментально расплавляются при любом, даже самом кратковременном воздействии пламени (табл. 3). Неудовлетворительные результаты также были получены при оценке устойчивости к прожигу.

Для решения проблемы в композиции для отделки были введены химические соединения, положительно влияющие на огнестойкость волокнистых полимеров: карбамид и ортофосфорная кислота (ОФК). Были предложены следующие варианты добавок, повышающих эффективность отделки:

А – карбамид: ОФК 40:60;

Б – карбамид :ОФК 50:50;

В – карбамид :ОФК 60:40.

Оценка полученных результатов показала, что в сочетании с соответствующими добавками эффективность препаратов «линейки» Фламентол в качестве антиперенов значительно возрастает. В частности, заметно улучшается стойкость испытуемых материалов к прожиганию. При проведении экспериментов был сделан ряд наблюдений, имеющих значение для разработки отделочной композиции для огнезащитной отделки:

– повышение концентрации карбамида в отделочном составе выше 100 г/л нецелесообразно. Поскольку, являясь гидротропным веществом, препарат удерживает воду, материал остается влажным даже после длительной сушки, что может вызвать проблемы при его хранении и эксплуатации. Особенно это заметно на материалах с высокой поверхностной плотностью, таких как Авизент и Лента ЛТК-26-600;

– присутствие на волокне ортофосфорной кислоты в составе отделочной композиции

делает материал более тугоплавким – плавление замедляется.

Таблица 3. Результаты огнестойкой отделки

Материал	Высота обугливания, мм		Время остаточного горения, с	
	Исходный состав	С добавкой А	Исходный состав	С добавкой А
Требуемые показатели				
Льняная ткань (Лн)	<10		0	
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	<10		0	
Авизент (Хл)	<5		0	
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	<5		0	
Фламентол НМ, конц. 100 г/л				
Льняная ткань (Лн)	30	8	0	0
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	расплавился	6	-	0
Авизент (Хл)	40	2	2	0
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	расплавился	5	-	1
Фламентол НМ, конц. 200 г/л				
Льняная ткань (Лн)	0	4	0	0
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	расплавился	3	-	0
Авизент (Хл)	8	0	0	0
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	расплавился	0	-	0
Фламентол ОС, конц. 100 г/л				
Льняная ткань (Лн)	10	7	3	0
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	расплавился	5	-	1
Авизент (Хл)	13	0	6	0
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	расплавился	0	-	0
Фламентол ОС, конц. 200 г/л				
Льняная ткань (Лн)	6	1	0	0
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	15	1	-	0
Авизент (Хл)	2	0	0	0
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	10	0	-	0
Фламентол С, конц. 100 г/л				
Льняная ткань (Лн)	12	5	0	0
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	18	5	9	0
Авизент (Хл)	5	3	0	0
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	6	3	4	0
Фламентол С, конц. 200 г/л				
Льняная ткань (Лн)	8	3	0	0
Трикотажное полотно (Хл+ПА)	8	4	5	0
Авизент (Хл)	0	0	1	0
Лента ЛТК-26-600 (ПА)	2	0	0	0

Наиболее удачной с точки зрения повышения эффективности защиты оказалась добавка А, в которой преобладала ортофосфорная кислота. При введении этой добавки требуемые результаты отделки были достигнуты даже при минимальной концентрации основных препаратов – 100 г/л.

Однако при введении в состав только кислоты, без карбамида, результат оказался заметно хуже, что отражено на рис. 1, на котором в качестве примера приведены результаты стойкости к огню по высоте обугливания ткани Авизент с препаратами Фламентол НМ и Фламентол ОС с различными добавками. Ана-

логичные результаты с этими добавками были получены и для других исследуемых материалов. Вероятно это связано с синергическим эффектом, который возникает при сочетании промышленно выпускаемых препаратов с карбамидом и ОФК, что и обеспечивает требуемое качество отделки.

Полученный эффект подтвердили и результаты оценки кислородного индекса отделанных тканей. На рис. 2 представлены данные, полученные для хлопчатобумажной ткани авизент и ленты из полиамидного волокна, обработанных препаратом Фламентол ОС с концентрацией 200 г/л.

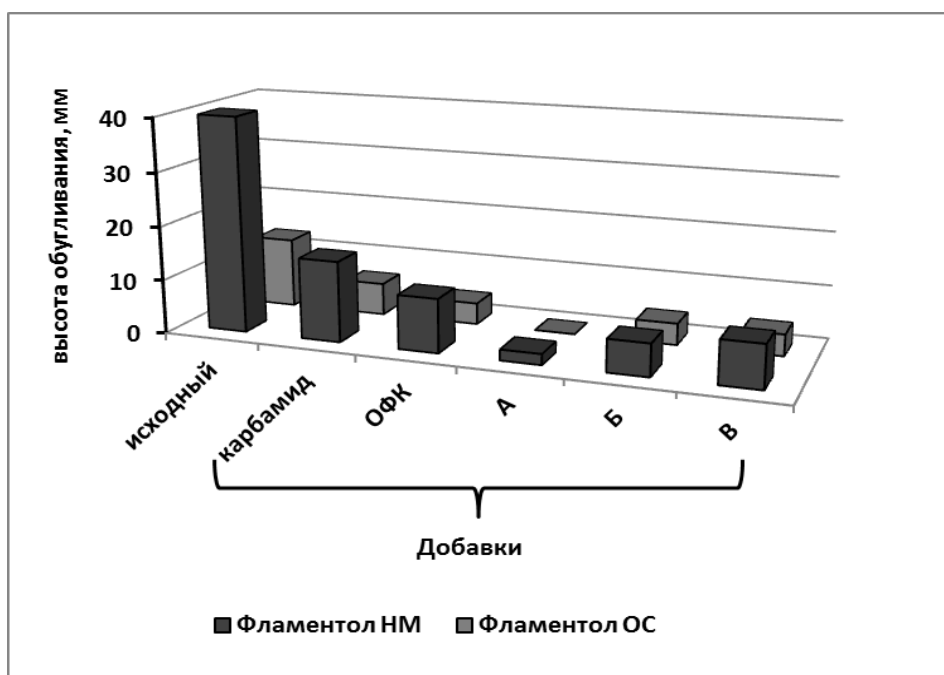


Рис. 1. Результаты испытания огнестойкости ткани Авизент с препаратами Фламентол НМ и Фламентол ОС

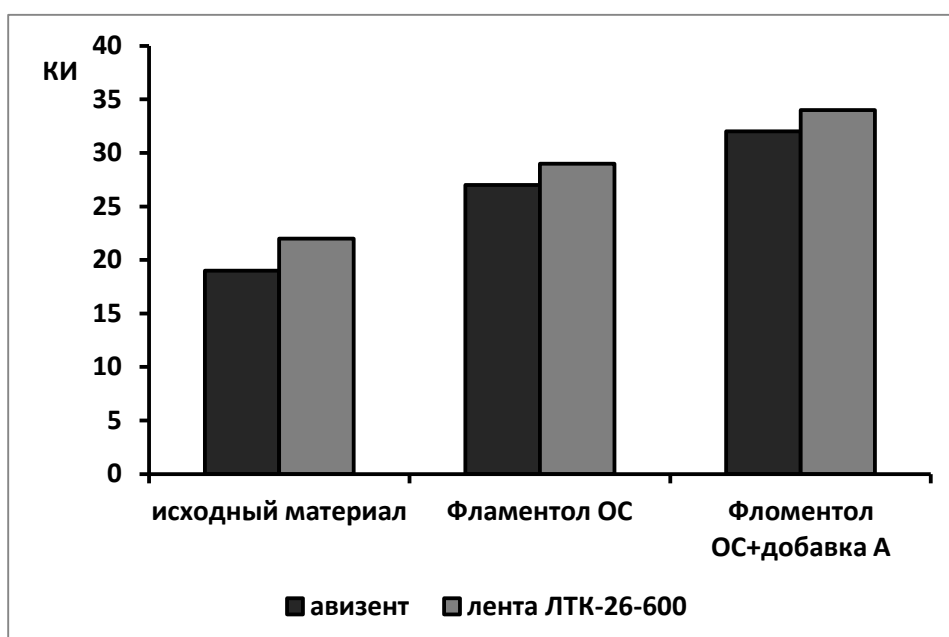


Рис. 2. Кислородный индекс исходных и отделанных материалов

Выводы: Итогом проведенных экспериментов стала разработка композиции, включающей г/л: препарат Фламентол НМ для целлюлозных материалов или препарат Фламентол ОС для материалов из полиамидного волокна или смеси полиамидного и целлюлозного волокон – 100; добавка А – 50. Материал

пропитывается композицией и сушится при температуре от 100 до 150 °С. Достигнутые показатели огнестойкости соответствуют требованиям, предъявляемым к обрабатываемым текстильным материалам в соответствии с ГОСТ.

Список литературы

1. Поддубный Е. Н., Струженков А. Н. Учет пожаров и их последствий в Российской Федерации в 2019 году // Безопасность техногенных и природных систем. 2019. № 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-pozharov-i-ih-posledstviy-v-rossiyskoy-federatsii-v-2019-godu> (дата обращения: 5.11.2020).
2. Перепелкин К.Е. Горючесть волокон и текстиля – одна из важнейших характеристик опасности/безопасности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2009. Т. 4. № 2. С. 22–28.
3. Hilado C.J. Flammability of Fabric. Technomic Publ. Co. N.Y., 1974. 200 p.
4. Баратов А. Н., Константинова Н. И., Молчадский И. С. Пожарная опасность текстильных материалов. М., 2006. 271 с.
5. Шарнина Л. В., Пуганов М. В., Владимирцева Е. Л. Проблема пожарной опасности текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 3. С. 63–66.

References

1. Poddubnyj E. N., Struzhenkov A. N. Uchet pozharov i ih posledstvij v Rossijskoj Federacii v 2019 godu [Accounting for fires and their consequences in the Russian Federation in 2019]. *Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh sistem*, 2019, issue 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-pozharov-i-ih-posledstviy-v-rossiyskoy-federatsii-v-2019-godu> (data obrashcheniya: 5.11.2020).
2. Perepelkin K. E. Goryuchest' volokon i tekstilya – odna iz vazhnejshih harakteristik opasnosti/bezopasnosti [Flammability of fibers and textiles is one of the most important hazard / safety characteristics]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti*, 2009, vol. 4, issue 2, pp. 22–28.
3. Hilado C. J. *Flammability of Fabric*. Technomic Publ. Co. N.Y., 1974. 200 p.
4. Baratov A. N., Konstantinova N. I., Molchadskij I. S. *Pozharnaya opasnost' tekstil'nyh materialov* [Fire hazard of textile materials]. M.: 2006. 271 p.
5. SHarnina L. V., Puganov M. V., Vladimirceva E. L. Problema pozharnoj opasnosti tekstil'nyh materialov [The problem of fire hazard of textile materials]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2019, issue 3, pp. 63–66.

Федоринов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
заместитель начальника академии по учебной работе
E-mail: a.fedorinov@yandex.ru

Fedorinov Alexander 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
deputy chief for educational work
E-mail: a.fedorinov@yandex.ru

Одинцова Ольга Ивановна

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

доктор технических наук,
заведующий кафедрой химической технологии волокнистых материалов

E-mail: odolga@yandex.ru

Odintsova Olga Ivanovna

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical science,
Head of the Department of Chemical Technology fibrous materials

E-mail: odolga@yandex.ru

Владимирцева Елена Львовна

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: elvladimirtseva@mail.ru

Elena Lvovna Vladimirtseva

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, assistant professor

E-mail: elvladimirtseva@mail.ru

Смирнова Светлана Викторовна

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: smirnovasv1961@mail.ru

Smirnova Svetlana Victorovna

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, assistant professor

E-mail: smirnovasv1961@mail.ru

Демидов Роман Николаевич

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

студент

Demidov Roman Nikolaevch

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Russian Federation, Ivanovo

student

Шилкина Валерия Сергеевна

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

студент

Shilkina Valeria Sergeevna

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Russian Federation, Ivanovo

student

УДК 614.842.611

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ ABC

Л. Н. ЧЕСНОКОВА, Т. В. ФРОЛОВА, О. С. ИВАНЕНКО, Е. В. КАРАСЕВ

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

E-mail: michura@bk.ru, frolovatanja@mail.ru, borsek777@mail.ru, evkar75@mail.ru

В статье приводится краткий обзор современных российских и зарубежных исследований огнетушащих порошков ABC по вопросам их огнетушащей эффективности. Вклад каждого огнетушащего механизма (отвод тепла из зоны горения на нагревание и плавление частиц, ингибирование пламени) изучался как отдельными методами, так и комплексно, с момента появления огнетушащих порошков и является актуальным вопросом для обсуждений и в настоящее время. В научной литературе приводятся сведения о комплексных исследованиях, в результате которых было установлено, что при тушении пожара кинетические параметры зачастую важнее термодинамических, а, следовательно, не следует недооценивать ингибирующее действие порошков. В соответствии с другими научными работами тушение пожара порошком ABC в основном зависит от химического ингибирования радикалов $H\cdot$, $OH\cdot$, а не от поглощения тепла. Однако, считаем целесообразным продолжить изучение влияния материала (состава) горючего вещества и внешних условий на огнетушащий механизм порошковых составов. Только комплексный подход, с использованием современных методов исследования, позволит всецело изучить вклады механизмов огнетушения в тех или иных условиях и на основе этого разрабатывать новые, наиболее эффективные порошковые составы.

Ключевые слова: порошковые огнетушащие составы, огнетушащий порошок ABC, аммофос, дигидрофосфат аммония, сульфат аммония, огнетушащая эффективность, огнетушащий механизм порошков, качество порошковых огнетушащих составов.

CONTEMPORARY RESEARCHES OF EXTINGUISHING POWDERS ABC

L. N. CHESNOKOVA, T. V. FROLOVA, O. S. IVANENKO, E. V. KARASEV

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: michura@bk.ru, frolovatanja@mail.ru, borsek777@mail.ru, evkar75@mail.ru

The article provides a brief overview of modern Russian and foreign studies of ABC fire extinguishing powders on their fire extinguishing effectiveness. The contribution of each fire extinguishing mechanism (heat removal from the combustion zone to the heating and melting of particles, flame inhibition) has been studied both by separate methods and in a complex manner, since the appearance of fire extinguishing powders and is an urgent issue for discussion at the present time. The scientific literature provides information about complex studies, which have shown that when extinguishing a fire, kinetic parameters are often more important than thermodynamic ones, and, therefore, the inhibitory effect of powders should not be underestimated. According to other scientific works, fire extinguishing with ABC powder mainly depends on the chemical inhibition of $H\cdot$, $OH\cdot$ radicals, and not on heat absorption. However, we consider it appropriate to continue studying the influence of the material (composition) of the combustible substance and external conditions on the fire extinguishing mechanism of powder formulations. Only an integrated approach, using modern research methods, will allow us to fully study the contributions of fire extinguishing mechanisms in various conditions and, based on this, develop new, most effective powder formulations.

Key words: powder extinguishing agents, ABC fire extinguishing powder, ammophos, ammonium dihydrophosphate, ammonium sulfate, fire extinguishing efficiency, fire extinguishing mechanism of powders, quality of powder extinguishing agents.

В практике пожаротушения широкое применение находят порошковые огнетушащие составы благодаря своим превосходным огнетушащим характеристикам, при этом порошковые составы общего назначения используются наиболее широко. Такая востребованность порошковых огнетушащих составов побуждает недобросовестных производителей изготавливать составы, которые не отвечают требованиям ГОСТ и ТУ, о чем свидетельствует «Открытое письмо об огнетушащих порошках» от 11.10.2018¹. Участившиеся случаи применения таких огнетушащих средств на пожарах ярко показывают назревшую проблему определения качества порошковых составов, определения их компонентного состава, который напрямую влияет на огнетушащую способность порошка.

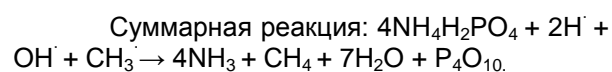
Известно, что суммарная огнетушащая способность ОП достигается в основном за счет отвода тепла из зоны горения на нагревание и плавление частиц, ингибирования пламени, эффекта огнепреграждения, а также, для твердых горючих материалов, за счет разложения огнетушащего вещества и частичного испарения массы порошка [1]. Вклад каждого огнетушащего механизма изучался с момента появления ОП и является актуальным вопросом для обсуждений и в настоящее время.

Так Ewing С. Т. с соавторами [2] и Beyler С. [3] показали, что при концентрациях огнетушащих веществ, используемых при тушении пожара, наибольший вклад в огнетушащий эффект вносит отвод тепла из зоны горения, за счет плавления, испарения и эндотермических процессов разложения основных компонентов различных порошков. Ингибирующий эффект ОП ограничен низкой концентрацией активных частиц порошка в пламени.

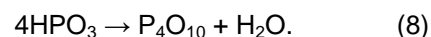
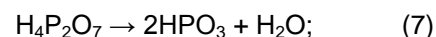
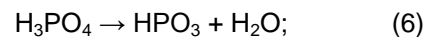
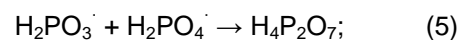
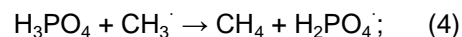
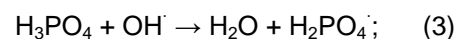
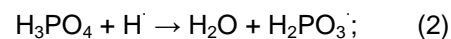
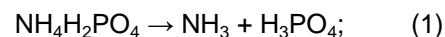
Krasnyansky М. [4] провел расчеты факторов гомогенных и гетерогенных реакций ингибирования, измерение коэффициентов гетерогенной рекомбинации радикалов O^{\cdot} , OH^{\cdot} , H^{\cdot} , CH_3^{\cdot} на поверхностях кристаллов соли, расчет скоростей разложения и испарения частиц порошка, а также дал оценку «теплого» вклада аэрозольных частиц в огнетушащее действие порошков. В работе были

использованы хроматографический, дериватографический, хемолюминесцентный, фотоэлектрокалориметрический методы анализа, а также расчетные методы. В ходе комплексного исследования автор пришел к выводу о том, что при тушении пожара кинетические параметры зачастую гораздо важнее термодинамических, а, следовательно, не следует недооценивать ингибирующее действие ОП.

Li Н. и др. [5] с целью определения вклада в огнетушащий эффект, провели теоретическое исследование механизма ингибирования пламени порошком ABC с использованием пакета программ Gaussian 16. В расчетах использовался гибридный обменно-корреляционный функционал программы M06-2X. На основе расчетных методов, термодинамического и кинетического анализа авторами было определено, что тушение пожара порошком ABC в основном зависит от химического ингибирования радикалов H^{\cdot} , OH^{\cdot} , а не от поглощения тепла. Определены также наиболее вероятные процессы взаимодействия основного компонента огнетушащего порошка ABC $NH_4H_2PO_4$ с активными радикалами, образующимися при горении (H^{\cdot} , OH^{\cdot} , CH_3^{\cdot}):



Стадии суммарной реакции:

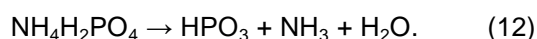
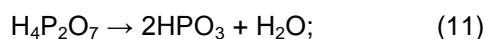
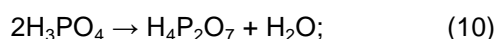
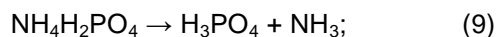


Руководствуясь тепловой концепцией подавления пламени, некоторые исследователи обсуждают огнетушащую эффективность порошков на основе анализа термического разложения их основных компонентов: аммофоса (смесь дигидрофосфата аммония $NH_4H_2PO_4$ и гидрофосфата аммония $(NH_4)_2HPO_4$) и сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$. При этом, в соответствии с ГОСТ Р 53280.4-

¹Открытое письмо об огнетушащих порошках ассоциации производителей пожарно-спасательной продукции и услуг «СОЮЗ 01» членам технического комитета РОССТАНДАРТА №274 «Пожарная безопасность» и заинтересованным лицам, обеспечивающим пожарную безопасность людей [Заглавие с экрана]. <https://www.npk-phz.ru/articles/article89.html> (дата обращения: 30.09.2020).

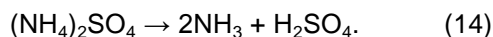
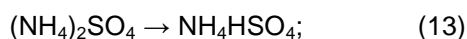
2009², не допускается наличие в одном огнетушащем порошке (ОП) бикарбонатов и фосфорно-аммонийных солей. А при наличии в порошке хлоридов в сопроводительном документе должно быть указано его содержание. Зарубежные производители в качестве основы используют дигидрофосфат аммония [6, 7].

Так, например, Su C. и др. [8] провели исследование термической деструкции $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, порошка ABC методом дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC) для проверки тепловых свойств разложения порошка. Разложение $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ по работам Abdel-Kader A. и др. [9], Pardo A. и др. [10] описано следующими химическими реакциями:



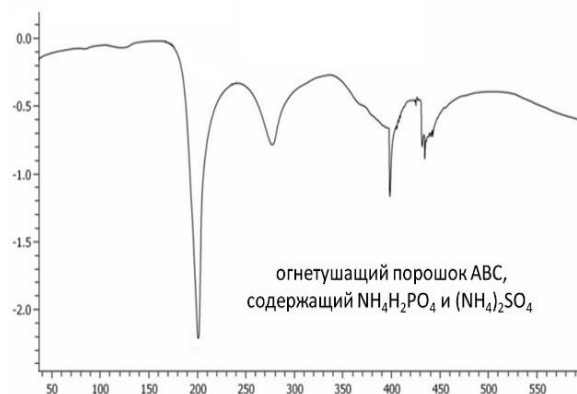
Уравнение (12) является суммарной реакцией термического разложения $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ [7].

Процесс термического разложения сульфата аммония имеет две стадии [8]:

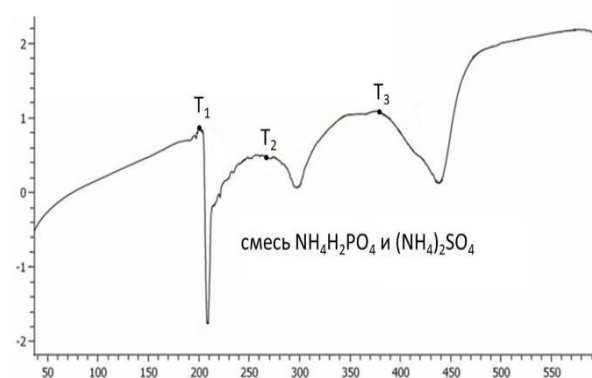


DSC эксперимент показал, что разложение дигидрофосфата как и сульфата аммония происходит с эндотермическим эффектом. Начальные температуры этих стадий составляют 230°C и 360°C соответственно. DSC кривая термического разложения смеси дигидрофосфата аммония и сульфата аммония идентична DSC кривым каждого компонента. При этом наблюдается небольшое изменение начальной температуры разложения смеси. DSC кривая термического разложения огнетушащего порошка ABC (рис.а), содержащего $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, аналогична DSC кривой смеси этих веществ (рис. б). На этом основании авторами сделан вывод о том, что методом DSC можно исследовать надежность огнетушащих порошков ABC. С помощью исследова-

ния термической деструкции порошка ABC можно проверить, являются ли дигидрофосфат аммония и сульфат аммония его компонентами.



а



б

Рисунок. Зависимость теплового потока (эВ) от температуры (°C) для смеси дигидрофосфата аммония, сульфата аммония (а) и огнетушащего порошка ABC, содержащего дигидрофосфат аммония и сульфат аммония (б) по [9]: T_1 – начальная температура термического разложения $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; T_2 , T_3 – начальные температуры стадий термического разложения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Однако, на основе анализа приведенных сведений считаем целесообразным продолжить изучение влияния материала (состава) горючего вещества и внешних условий на огнетушащий механизм порошковых составов. Только комплексный подход, с использованием современных методов исследования, позволит всецело изучить вклады механизмов огнетушения в тех или иных условиях и на основе этого разрабатывать новые, наиболее эффективные порошковые составы.

² ГОСТ Р 53280.4-2009 «Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. №54-ст).

Список литературы/ References

1. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 8. С. 63–68; Korol'chenko D. A., SHarovarnikov A. F. Tushenie plameni ognetushashchimi poroshkami i aerazol'nymi sostavami [Flame extinguishing with fire-extinguishing powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2014, vol. 23, issue 8, pp. 63–68.
1. Ewing C. T., Faith F. R., Hughes J. T. et al. Evidence for flame extinguishment by thermal mechanisms. *Fire technology*, 1989, vol. 25, issue 3, pp. 195–212. DOI: 10.1007/BF01039778.
2. Beyler C. A brief history of the prediction of flame extinction based upon flame temperature. *Fire and materials*, 2005, vol. 29, issue 6, pp. 425–427. DOI: 10.1002/fam.902.
3. Krasnyansky M. Studies of fundamental physical–chemical mechanisms and processes of flame extinguishing by powder aerosols. *Fire and Materials: An International Journal*, 2008, vol. 32, issue 1, pp. 27–47. DOI: 10.1002/fam.951.
4. Li H., Hua M., Pan X., Li S., Guo X., Zhang H., & Jiang J. The reaction pathway analysis of phosphoric acid with the active radicals: a new insight of the fire-extinguishing mechanism of ABC dry powder. *Journal of molecular modeling*, 2019, vol. 25, issue 8, pp. 255. DOI: 10.1007/s00894-019-4136-y.
5. Бобков С. А. Бабурин А. В., Комраков П. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 210 с.; Bobkov S. A. Baburin A. V., Komrakov P. V. *Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov: ucheb. posobie* [Physicochemical basis for the development and extinguishing of fires]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2014. 210 p.
6. Lapshin D. N., Kunin A. V., Semenov A. D. Influence of chemical impurities in ammonium phosphate and ammonium sulfate on the properties of ABCE fire extinguishing dry powders. *Russian Journal of General Chemistry*, 2016, vol. 86, issue 2, pp. 439–449. DOI: 10.1134/S1070363216020444.
7. Su C. H. et al. The assessment of fire suppression capability for the ammonium dihydrogen phosphate dry powder of commercial fire extinguishers. *Procedia Engineering*, 2014, issue 84, pp. 485–490. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.459.
8. Abdel-Kader A., Ammar A. A., Saleh S. I. Thermal behaviour of ammonium dihydrogen phosphate crystals in the temperature range 25–600°C. *Thermochimica acta*, 1991, issue 176, pp. 293–304. DOI: 10.1016/0040-6031(91)80285-Q.
9. Pardo A., Romero J., Ortiz E. High-temperature behaviour of ammonium dihydrogen phosphate. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2017, vol. 935, Issue 1, p. 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/935/1/012050.

Чеснокова Любовь Николаевна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, старший преподаватель
E-mail: michura@bk.ru

CHesnokova Lyubov' 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, senior lecturer
E-mail: michura@bk.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, старший преподаватель
E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tat'yana Vladislavovna

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

candidate of chemical sciences, senior lecturer
E-mail: frolovatanja@mail.ru

Иваненко Олег Сергеевич

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
курсант 512.1 учебной группы факультета пожарной безопасности
E-mail: borsek777@mail.ru

Ivanenko Oleg 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
cadet of the 512.1 training group of the faculty of fire safety
E-mail: borsek777@mail.ru

Карасев Евгений Викторович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
заместитель начальника кафедры
E-mail: evkar75@mail.ru

Karasev Evgenij Viktorovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Deputy Head of the Department
E-mail: evkar75@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать 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.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 4 (37), 2020

Подписано в печать 07.12.2020 г. Формат 60 × 90 1/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 21,6. Тираж 100 экз. Заказ №77.

Оригинал-макет подготовлен
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
АДРЕС РЕДАКЦИИ (ИЗДАТЕЛЯ): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33;
тел.: (4932) 34-38-18; e-mail: journal@edufire37.ru

Отпечатано в ОАО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90