

ISSN 2658-6223



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»

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

FEDERAL STATE BUDGET
EDUCATIONAL ESTABLISHMENT OF HIGHER EDUCATION
«IVANOVVO FIRE RESCUE ACADEMY OF STATE FIREFIGHTING SERVICE
OF MINISTRY OF RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE,
EMERGENCIES AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS»

3(44)/2022

ISSN 2658-6223

Управление
в организационных системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

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

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

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
строительства
и городского хозяйства
(технические науки)

Пожарная и промышленная
безопасность
(технические науки)

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

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

№ 3 (44), 2022



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

Территория распространения — Российская Федерация.

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Члены редколлегии:

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

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

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

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

Бутман Михаил Федорович – д-р физ.-мат. наук, проф., Ивановский государственный химико-технологический университет (Россия, г. Иваново)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Технический редактор: Чуприна Ольга Сергеевна

Подписной индекс в каталоге «Почта России» – ПН138.

Дата выхода в свет 29.09.2022 г. Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 14,13. Тираж 100 экз. Заказ № 84.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-73129 от 22.06.2018

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

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

Апарин А. А. Применение видеомониторинга для информационной поддержки принятия управленческих решений при реагировании на техногенный пожар..... 5
Aparin A. A. Application of video monitoring for information support of management decision-making in response to a man-made fire..... 5

Ермилов А. В., Мардахаев Л. В., Воленко О. И., Багажков И. В. Роль ситуационного моделирования в приобретении курсантами опыта профессиональной деятельности на месте пожара 12
Ermilov A. V., Mardakhaev L. V., Volenko O. I., Bagazhkov I. V. The role of situational modeling in the acquisition of professional experience by cadets at the scene of a fire 12

Мареев М. А., Денисов А. Н. Особенности применения метода электрогидравлических аналогий для поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров 22
Mareev M. A., Denisov A. N. Features of application of the method of electrohydraulic analogies to control fire and rescue divisions in fire extinguishing 22

Репин С. В., Лахвицкий Г. Н., Бурлаченко К. Г., Павликова М. Д. Регрессионный анализ факторов оказывающих влияние на трудозатраты при проверках органов местного самоуправления Нижегородской области 30
Repin S. V., Lakhvitsky G. N., Burlachenko K. G., Pavlikova M. D. Regression analysis of factors influencing labor costs during inspections of municipal authorities of the Nizhny Novgorod region 30

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

Данилов Р. А. Современные подходы к исследованию утраты огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций 39
Danilov R. A. Current approaches to studying the loss of fire resistance of operating rein-forced concrete structures 39

Ефименко В. Л. Прогноз процессов, происходящих в сопле устройств пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости 50
Efimenko V. L. Forecast of processes occurring in the nozzle of fire extinguishing devices with the gas-dynamic principle of liquid spraying 50

Присадков В. И., Муслакова С. В., Абашкин А. А., Присадков К. В. К вопросу оптимизации площадей пожарных отсеков 55
Prisadkov V. I., Muslakova S. V., Abashkin A. A., Prisadkov K. V. On the issue of optimizing the areas of fire compartments 55

Салихова А. Х., Шварев Е. А., Михалин В. Н., Лазарев А. А., Самойлов Д. Б. Анализ и систематизация статистических данных о пожарах на производственных объектах 60
Salikhova A. H., Shvarev E. A., Mikhailin V. N., Lazarev A. A., Samoilov D. B. Analysis and systematization of statistical data on fires at production facilities 60

Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Оценка воспламеняемости современных текстильных материалов декоративного назначения 67
Storonkina O. E., Mochalova T. A. Assessment of the ignitability of modern textile materials for decorative purpose 67

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

Акулова М. В., Флегонтов Д. В., Пуганов М. В., Ульева С. Н. Программное обеспечение для термического анализа бетонов при температурном нагреве 72
Akulova A. V., Flegontov D. V., Puganov M. V., Ulyeva S. N. Software for thermal analysis of concretes at temperature heating..... 72

Глухов А. В., Остапчук Е. Е., Сарасеко В. В., Треушков И. В. Применение модификаторов свойств грунтов и минеральных вяжущих для строительства грунтовых аэродромов в Арктической зоне Российской Федерации 80
Glukhov A. V., Ostapchuk E. E., Saraseko V. V., Treushkov I. V. Application of soil properties modifiers and mineral binders for the construction of unpaved airfields in the Arctic zone of the Russian Federation.. 80

Румянцева В. Е., Красильников И. В., Красильникова И. А., Новикова У. А., Строкин К. Б. Прогнозирование долговечности железобетонной башенной градирни, с учетом циклически изменяющихся параметров среды эксплуатации 89
Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Krasilnikova I. A., Novikova U. A., Strokin K. B. Forecasting the durability of a reinforced concrete tower cooling tower, taking into account cyclically changing parameters of the operating environment..... 89

Румянцева В. Е., Панченко Д. А., Панченко Ю. Ф., Коновалова В. С., Королева О. И. Анализ коррозионной стойкости штукатурных покрытий на основе извести и способы ее повышения..... 99
Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Yu. F., Konovalova V. S., Koroleva O. I. Analysis of corrosion resistance of lime-based plaster coatings and ways to improve it 99

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING
(TECHNICAL SCIENCES)**

Гукасян С. А., Козлов А. А., Сибиряков М. В. Особенности обеспечения пожарной безопасности в культурно-просветительских учреждениях 109
Ghukasyan S. A., Kozlov A. A., Sibiryakov M. V. Features of fire safety in cultural institutions..... 109

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

УДК 614.842, 621.398

**ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ТЕХНОГЕННЫЙ ПОЖАР**

А. А. АПАРИН

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

Статья посвящена разработке математической основы информационно-аналитического сопровождения процесса получения и обработки оператором мониторинга информации, поступающей в реальном времени со стационарных систем видеонаблюдения, установленных в определенном радиусе от места возникновения техногенного пожара. Моделирование и алгоритмизация при осуществлении оперативного реагирования необходимы для формирования альтернатив и поиска наиболее оптимального решения с учетом поступающих видеоданных до прибытия первых пожарно-спасательных подразделений к месту вызова.

Ключевые слова: пожарная безопасность, управленческие решения, информационная поддержка, видеомониторинг, техногенный пожар, оперативное реагирование.

**APPLICATION OF VIDEO MONITORING FOR INFORMATION SUPPORT
OF MANAGEMENT DECISION-MAKING IN RESPONSE TO A MAN-MADE FIRE**

A. A. APARIN

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

The article is devoted to the development of a mathematical basis for information and analytical support of the process of receiving and processing by the monitoring operator of information received in real time from stationary video surveillance systems installed in a certain radius from the site of a man-made fire. Modeling and algorithmization in the implementation of rapid response are necessary for the formation of alternatives and the search for the most optimal solution, taking into account the incoming video data before the arrival of the first fire and rescue units to the place of the call.

Key words: fire safety, management decisions, information support, video monitoring, man-made fire, rapid response.

Технология видеонаблюдения представляет значительный интерес для исследования в контексте проблем пожарной безопасности. Достаточно большое количество научных трудов посвящено развитию теории и практики применения видеоанализа при помощи алго-

ритмов искусственного интеллекта. Например, А. Н. Членов (АГПС МЧС России) и Ф. В. Демёхин (СПб УГПС МЧС России) в начале 2000-х годов исследовали общие принципы построения видеодетектора пожара [1]. Авторы из НГТУ им. Р. Е. Алексеева (В. С. Бочков, Л. Ю. Катаева, Д. А. Масленников) занимались разработкой алгоритма поиска уязвимых зон пожара с применением анализа видеопото-

ка [2], А. В. Пятаева (Сибирский Федеральный университет) разработала алгоритмы обнаружения дыма на открытых пространствах по видеопоследовательностям [3]. Однако научное направление, касающееся мониторинга, осуществляемого непосредственно оператором при помощи стационарных систем видеонаблюдения, установленных в городской среде, осталось до сих пор недостаточно изученным, несмотря на то, что технология осваивается в некоторых пожарно-спасательных гарнизонах Российской Федерации в целях получения дополнительной информации с места происшествия до прибытия первых подразделений. Данное положение обосновывает актуальность рассматриваемой темы. Автором статьи лично и в соавторстве ранее была проделана работа, которая позволила показать важность роли информации, поступающей со стационарных систем видеонаблюдения, установленных в городской среде, при оперативном реагировании пожарно-спасательных подразделений на пожар [4]. В частности, рассмотрены возможности данных систем в контексте различных технических средств, потенциально применимых для мониторинга пожаров [5].

Особо важны в представленном направлении аспекты проблемы управления,

связанные с математическим моделированием и прогнозированием обстановки на месте пожара по поступающим видеоданным.

Получение подобных данных в момент времени, минимально удаленный от момента принятия вызова диспетчером дежурно-диспетчерской службы может позволить скорректировать процесс вызова дополнительных подразделений на пожар оптимальным образом. Соответственно, для получения множества управленческих альтернатив (и дальнейшего анализа) требуется разработка математических моделей и алгоритмов, что стоит выделить как одну из центральных задач рассматриваемой проблематики.

Целью данной работы является подготовка основы для разработки рационального подхода к принятию управленческих решений, по поступающей в режиме реального времени с места пожара видеoinформации.

Основными использованными в исследовании методами являются: анализ, синтез информации и математическое моделирование.

Автором разработана концептуальная схема информационно-аналитического сопровождения видеомониторинга техногенного пожара (рис.1).



Рис. 1. Концептуальная схема информационно-аналитического сопровождения (ИАСВ) видеомониторинга техногенного пожара

Одной из основных проблем рассматриваемой темы является сложность математической и логической интерпретации явлений и событий объективной действительности, представленной потоком видеoinформации с места техногенного пожара (или в доступном радиусе).

На основании проведенного ранее исследования [4] выдвинута рабочая гипотеза о том, что теоретически могут существовать группы факторов (индикаторов), по-разному влияющих на оценку развивающегося деструктивного события, при работе оператора с системами видеомониторинга.

Итак, пусть дан видеопоток информации, фиксируемый стационарными системами видеонаблюдения, установленными в городской среде или на уличной территории объектов защиты – Y . Получение видеопотока представителями экстренных служб возможно в определенном радиусе от места вызова – R_Y . Явление технической возможности подключения к определенной камере для получения видеопотока имеет обозначение Θ_{Y_n} , где n – некоторая камера видеонаблюдения.

Модель поступающего оператору видеомониторинга потока видеoinформации A может быть представлена кортежем параметров:

$$A = \langle Y, R_Y, \Theta_{Y_n}, n \rangle. \quad (1)$$

При этом, все камеры систем видеомониторинга, присутствующие на территории абстрактного пожарно-спасательного гарнизона формируют модель параметра Y :

$$Y = \langle (Y_1, Y_2, \dots, Y_n), Y_\psi \rangle. \quad (2)$$

Предполагается, что Y_ψ содержит в себе отображение свойств объективной действительности, транслируемых в виде видеоизображений, таким образом, что их можно использовать в качестве индикаторов складывающейся ситуации – ψ :

$$Y_\psi = \langle \psi_\alpha, \psi_\beta, \psi_\gamma \rangle, \quad (3)$$

где ψ_α – индикаторы, свидетельствующие об усложняющейся обстановке по данным видеомониторинга, ψ_β – индикаторы, свидетельствующие о неосложняющейся обстановке по данным видеомониторинга, ψ_γ – иные индикаторы, не относящиеся к анализируемой ситуации.

На основе моделей 1–3, а также при использовании моделей определения площади

возможного пожара к моменту прибытия первых подразделений¹ и способов оценки тактических возможностей подразделений пожарной охраны [6], разработана система поддержки принятия управленческих решений (СППР), позволяющая выдвинуть прогноз (в период до прибытия лиц, осуществляющих руководство пожаротушением, на место вызова) о возможной недостаточности тактических возможностей первых выехавших пожарно-спасательных подразделений.

Схема потока информации в СППР показана на рис. 2.

Созданная математическая основа формализована в виде программы для ЭВМ «Программа для аналитического обеспечения мониторинга техногенного пожара на основе информации со стационарных систем видеонаблюдения» [7].

Программа предназначена для аналитической обработки вводимых оператором данных об обстановке на месте пожара, получаемых со стационарных систем видеонаблюдения, установленных в городской среде, у которых имеется техническая возможность подключения с формированием соответствующего прогноза. Областью применения является планирование способов поддержки принятия управленческих решений на этапах сосредоточения сил и средств пожарной охраны к месту вызова на основе данных видеомониторинга.

Программа позволяет обрабатывать информацию, вводимую оператором, осуществляющим дистанционный мониторинг обстановки на месте возникновения и развития техногенного пожара в период оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений, прогнозируя:

- необходимость запроса видеoinформации по конкретному сообщению при одновременном поступлении нескольких сообщений о пожаре,
- потенциальную недостаточность тактических возможностей выехавших отделений пожарной охраны на основных пожарных автомобилях общего применения.

В структуру модели встроены разработанные переменные типа ψ_α :

- $k_{\psi_{\alpha 1}}$ – отражает примерную степень запущенности пожара по внешним признакам на момент сообщения о пожаре,
- $k_{\psi_{\alpha 2}}$ – отражает наличие препятствий антропогенного или природного проис-

¹ Приказ МЧС России от 25.03.09 № 181 «Об утверждении свода правил «Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения».

хождения для проведения боевого развертывания на месте вызова,

– $k_{\psi_{\alpha z}}$ – отражает степень вертикального распространения горения по зданию на основе видеоданных.

$$k_{\psi_{\alpha i}} \subset \psi_{\alpha} \subset \mathbb{Q}, \quad (4)$$

где \mathbb{Q} – множество рациональных чисел.

На данный момент, значения $k_{\psi_{\alpha i}}$ носят абстрактный характер, для их конкретизации необходимо проведение прикладных исследований с проверкой адекватности тех или иных вариантов в рамках моделей.

В концептуальной схеме ИАСВ (рис. 1), СППР выполняет функции аналитической работы моделей (вычислительный анализ данных) и имитационного моделирования (предоставление оператору рекомендаций на основе моделирования ситуации).



Рис. 2. Схема потока информации в СППР

Для систематизации, хранения, извлечения информации по обработанным вызовам, а также проверки моделей [7] на адекватность, разработана база данных (БД) «Ресурсы информационного обеспечения видеомониторинга техногенного пожара при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны» [8].

Структура объектов БД позволяет накапливать фото- и видеоинформацию, сопровождаемую описанием в виде числовых значений. Кортежи данных, в том числе, предусматривают содержание дискретной информации, структурирующей хранящиеся фото- и видеоданные по различным параметрам. База данных потенциально применима для информационной поддержки оператора мони-

торинга при работе с видеопотоком данных. Функциональными возможностями БД являются: накопление, хранение и структурирование результатов видеомониторинга произошедших техногенных пожаров с целью формирования информационных ресурсов, позволяющих осуществлять быстрый поиск и получение интересующей оператора информации.

БД позволяет синтезировать в кортежах данных результаты аналитической работы моделей программы [7] и фактические данные по соответствующим обработанным вызовам пожарно-спасательных подразделений, что необходимо для проверки моделей на адекватность. Схема данных БД представлена на рис. 3.

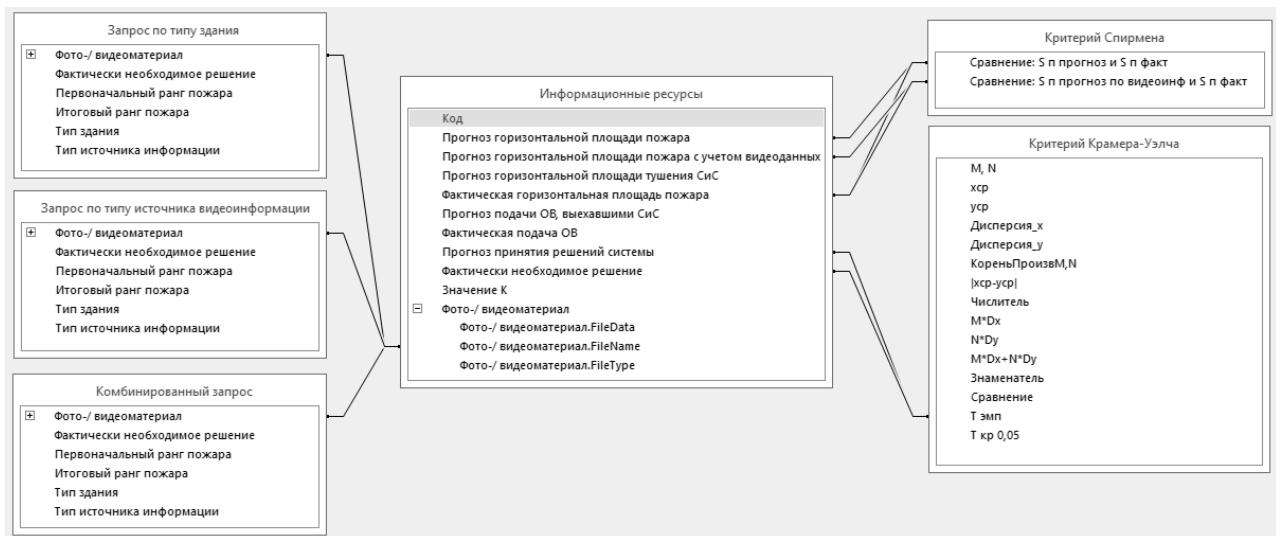


Рис. 3. Ресурсы информационного обеспечения видеомониторинга техногенного пожара при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны

Наполненная информационными ресурсами БД предназначена для работы в двух режимах: первый – оперативное извлечение информации и второй – анализ хранящихся данных.

В режиме оперативного извлечения информации пользователь имеет возможность запрашивать данные:

- по типу здания, где произошел пожар,
- по типу применяемого средства видеомониторинга,
- по типу принятого решения (был ли повышен номер вызова),
- комбинированного характера.

В режиме анализа хранящихся данных, пользователь может запустить функцию проверки на адекватность предлагаемых СППР решений (1), а также оценить точность прогнозирования значения площади пожара на основе данных видеомониторинга (2).

1. Сравниваются выборки (рис. 3): прогнозируемых решений и фактически принятых решений по повышению/ подтверждению номера вызова (каждому решению присвоен уникальный идентификатор). Целью сравнения является проверка характеристик выборок на совпадение или различие. В данном случае предлагается применять непараметрический критерий Крамера-Уэлча. Подобный метод позволяет, работая с большим количеством кортежей данных, определять насколько моделируемые решения близки к реально принятым в конкретных ситуациях.

2. Сравниваются выборки: прогнозируемых значений площади пожара (как с учетом видеoinформации, так и без) и фактических значений площади пожара по соответствующим

отработанным вызовам. Применение критерия Спирмена позволяет определить силу корреляционной связи между исследуемыми выборками, что необходимо для выявления недостатков прогнозных формул, в том числе, которые содержат в себе переменные множества ψ_{α} . Если теснота корреляционной связи по результатам проверки характеризуется как «слабая» или «умеренная», то необходимо провести совершенствование прогнозной модели, лежащей в основе программы [7]. При этом проявляется кибернетический подход к описанию систем, так как информация о результатах управления возвращается непосредственно в систему управления (СУ) с обратной связью о корректности работы СУ.

Критерии Спирмена и Крамера-Уэлча являются базовыми инструментами анализа информационных ресурсов, формируемых кортежами данных (рис. 1). Однако, они могут быть заменены на более подходящие критерии или дополнены другими методами работы с данными.

Таким образом, разработана концептуальная схема ИАСВ, представляющая вариант архитектуры единой системы сопровождения процесса работы оператора с данными видеомониторинга. Для формализации структурных элементов схемы разработаны модели и логические алгоритмы, представляющие математическую основу по накоплению, структурированию и использованию видеoinформации с места техногенного пожара. Это позволяет формировать рациональный подход к принятию решений на основе потока видеoinформации, учитывая ранее накопленный опыт.

«Программа для аналитического обеспечения мониторинга техногенного пожара на основе информации со стационарных систем видеонаблюдения» [7] и БД «Ресурсы информационного обеспечения видеомониторинга техногенного пожара при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны» [8] являются функционирующими продук-

тами, но относятся к разряду прототипов, которые должны совершенствоваться в процессе апробации.

К разряду перспективных исследований по рассмотренной теме, стоит отнести разработку, формализацию моделей и алгоритмов по определению оптимальности управленческих решений, предлагаемых СППР.

Список литературы

1. Членов А. Н., Демехин Ф. В. Общие принципы построения видеодетектора пожара // Технологии техносферной безопасности. 2005. Вып. 4.
2. Бочков В. С., Катаева Л. Ю., Масленников Д. А. Алгоритм поиска уязвимых зон пожара с применением анализа видеопотока // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: материалы конференции. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2017. С. 395–400.
3. Пятаева А. В. Исследование методов и разработка алгоритмов обнаружения дыма на открытых пространствах по видеопоследовательностям: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17. Красноярск, 2017. 157 с.
4. Апарин А. А. Информационно-аналитическое обеспечение видеомониторинга при оперативном реагировании на пожар на основе данных со стационарных систем // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2022. № 11. С. 258–262.
5. Тараканов Д. В., Семенов А. О., Апарин А. А. Модели мониторинга пожаров на открытых территориях: монография. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. 103 с.
6. Подгрушный А. В. Совершенствование управления боевыми действиями пожарных подразделений на основе повышения их тактических возможностей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. М., 2004. 281 с.
7. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2022660075. Программа для аналитического обеспечения мониторинга техногенного пожара на основе информации со стационарных систем видеонаблюдения / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов; заявл. 17.05.2022; опублик. 30.05.2022.
8. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2022621358 Ресурсы информационного обеспечения видеомониторинга техногенно-

го пожара при управлении сосредоточением подразделений пожарной охраны / А. А. Апарин; заявл. 17.05.2022; опублик. 08.06.2022.

References

1. Chlenov A. N., Demekhin F. V. Obshchie printsipy postroeniia videodetektora pozhara [General principles of building a video fire detector]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2005, issue 4.
2. Bochkov V. S., Kataeva L. Yu., Maslennikov D. A. Algoritm poiska uiazvimykh zon pozhara s primeneniem analiza videopotoka [Algorithm for finding vulnerable fire zones using video stream analysis]. *XXIX Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia, posviashchennaia 80-letiu FGBU VNIIPo MChS Rossii: materialy konferentsii*. Balashikha: FGBU VNIIPo MChS Rossii, 2017. pp. 395–400.
3. Pyataeva A. V. Issledovanie metodov i razrabotka algoritmov obnaruzheniia dyma na otkrytykh prostranstvakh po videoposledovatel'nostiam. Diss. kand. tekhn. nauk [Research of methods and development of algorithms for smoke detection in open spaces by video sequences. Cand. tech. sci. diss.]. Krasnoiar'sk, 2017. 157 p.
4. Aparin A. A. Informatsionno-analiticheskoe obespechenie videomonitoringa pri operativnom reagirovanii na pozhar na osnove dannyykh so statsionarnyykh sistem [Information and analytical support of monitoring during rapid response to a fire based on data from stationary video surveillance systems]. *Problemy tekhnosfernoi bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov*, 2022, vol. 11, pp. 258–262.
5. Tarakanov D. V., Semenov A. O., Aparin A. A. Modeli monitoringa pozharov na otkrytykh territoriakh: monografiia [Models for monitoring fires in open areas: monograph]. Ivanovo, Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022, 103 p.
6. Podgrushnyy A. V. Sovershenstvovanie upravleniia boevymi deistviiami pozharnyykh podrazdelenii na osnove povysheniia ikh taktich-

eskikh vozmozhnostei. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the management of combat operations of fire departments based on increasing their tactical capabilities. Cand. tech. sci. diss.]. M., 2004. 281 p.

7. Aparin A. A., Tarakanov D. V., Semenov A. O. Programma dlia analiticheskogo obespecheniia monitoringa tekhnogenogo pozhara na osnove informatsii so statsionarnykh sistem videonabliudeniia [A program for analytical support of man-made fire monitoring based on information from stationary video surveillance sys-

tems]. Svidetelstvo Rospatenta o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM RU № 2022660075, opubl. 30.05.2022.

8. Aparin A. A Resursy informatsionnogo obespecheniia videomonitoringa tekhnogenogo pozhara pri upravlenii sosredotocheniem podrazdelenii pozharnoi okhrany [Resources of information support for video monitoring of man-made fire in the management of the concentration of fire protection units]. Svidetelstvo Rospatenta o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh RU № 2022621358, opubl. 08.06.2022.

Апарин Александр Александрович

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

E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

Aparin Alexander Alexandrovich

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

Postgraduate student

E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

УДК 614.842.83.07/08

РОЛЬ СИТУАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИОБРЕТЕНИИ КУРСАНТАМИ ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА МЕСТЕ ПОЖАРА

А. В. ЕРМИЛОВ¹, Л. В. МАРДАХАЕВ², О. И. ВОЛЕНКО³, И. В. БАГАЖКОВ¹

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

² Российский государственный социальный университет,
Российская Федерация, г. Москва

³ Московский педагогический государственный университет,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: skash_666@mail.ru, mantissa-m@mail.ru, docenza@mail.ru

Для успешной самореализации выпускника вуза МЧС России по профессиональному назначению в должности начальника караула у курсанта необходимо сформировать подготовленность и профессионально значимые качества. Подготовленность курсанта определяется компетентностью, а также опытом принятия управленческих решений при реализации частных технологий деятельности при ликвидации чрезвычайной ситуации в среде с наличием факторов риска.

В статье представлены результаты экспериментальной работы, целью которой являлось определение эффективности применения ситуационного моделирования в формировании опыта профессиональной деятельности на месте пожара у курсантов вуза МЧС России. С целью проверки эффективности исследования разработана имитационная модель выработки управленческого решения обучающимся, которая построена на содержании профессиональной деятельности руководителя тушения пожара.

Экспериментальная работа проводилась в 2021-2022 учебном году в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России с курсантами 4 года обучения направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (31 человек). В седьмом семестре курсанты решали ситуационные практико-ориентированные задачи на уровне сложности – начальник караула. В восьмом семестре на уровне сложности - оперативный дежурный.

Разработанная модель способствует приобретению курсантами опыта принятия управленческих решений за счет стимулирования проявления образов профессиональной деятельности при реализации частных технологий ликвидации чрезвычайной ситуации. Также, ситуационное моделирование позволило выявить, что курсанты выпускных курсов имеют провал в понимании существа управления личным составом на месте пожара. В частности, выделены три взаимосвязанных направления управленческой деятельности, которые в большей степени формируются вне учебного процесса через реальный опыт деятельности начальника караула. К ним относятся определение численности личного состава по обеспечению видов работ для достижения локализации пожара, определение численности отделений на основных пожарных автомобилях и определение ранга пожара. Результаты исследования подчеркивают возможность внедрения ситуационного моделирования в учебную деятельность обучающихся других вузов МЧС России.

Ключевые слова: ситуационное моделирование, управленческое решение, профессионально значимые качества, опыт профессиональной деятельности, модель учебной деятельности, управление силами и средствами.

THE ROLE OF SITUATIONAL MODELING IN THE ACQUISITION OF PROFESSIONAL EXPERIENCE BY CADETS AT THE SCENE OF A FIRE

A. V. ERMILOV¹, L. V. MARDAKHAEV², O. I. VOLENKO³, I. V. BAGAZHKOV¹

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

² Russian State Social University,
Russian Federation, Moscow

³ Moscow Pedagogical State University,
Russian Federation, Moscow
E-mail: skash_666@mail.ru, mantissa-m@mail.ru, docenza@mail.ru

For the successful self-realization of a graduate of the university of the Ministry of Emergency Situations of Russia by professional appointment as the head of the guard, it is necessary to form a cadet's preparedness and professionally significant qualities. The readiness of a cadet is determined by competence, as well as experience in making managerial decisions when implementing private technologies for emergency response in an environment with risk factors.

The article presents the results of experimental work, the purpose of which was to determine the effectiveness of the use of situational modeling in the formation of professional experience at the site of a fire among cadets of the University of the Ministry of Emergency Situations of Russia. In order to verify the effectiveness of the study, a simulation model of the development of a managerial decision by the trainee was developed, which is based on the content of the professional activity of the fire extinguishing manager.

Experimental work was carried out in the 2021-2022 academic year at the Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia with cadets of 4 years of training in the training direction 20.03.01 «Technosphere safety» (31 people). In the seventh semester, the cadets solved situational practice-oriented tasks at the level of complexity – the head of the guard. In the eighth semester, at the level of complexity, there is an operational duty officer.

The developed model contributes to the acquisition of managerial decision-making experience by cadets by stimulating the manifestation of images of professional activity in the implementation of private emergency response technologies. Also, situational modeling revealed that graduate students have a failure in understanding the essence of personnel management at the fire site. In particular, three interrelated areas of managerial activity are identified, which are mostly formed outside the educational process through the real experience of the head of the guard. These include determining the number of personnel to provide types of work to achieve fire localization, determining the number of departments on the main fire trucks and determining the rank of the fire. The results of the study emphasize the possibility of introducing situational modeling into the educational activities of students of other universities of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

Key words: professionally significant qualities, management decision, technology of formation of qualities, model of educational activity, risk factor, ability, readiness for action.

Успешность самореализации выпускника по профессиональному назначению является одним из главных показателей качества подготовки в вузе МЧС России. Назначаясь на должность «начальник караула» в местных пожарно-спасательных гарнизонах, выпускник становится важнейшей составляющей обеспечения безопасности жизни человека и материальных ценностей государства. Так, в 2021 году сотрудник (работник) МЧС России в должности начальник караула пожарно-спасательной части или отдельного поста привлекался к выполнению обязанностей первого руководителя тушения пожара 23377 раз¹. Данный показатель находится на втором месте после должности «командир отделения». Устойчивая деятельность первого прибывшего начальника караула на место вызова влияет на успешность достижения целей выезда подразделения для ликвидации чрезвычайной си-

туации, а именно: ликвидация горения в пределах тактических возможностей дежурного караула; ликвидация пожара до наступления потери огнестойкости строительных конструкций объекта пожара; ликвидация горения до наступления критических значений опасных факторов пожара.

В трудах В. В. Булгакова подчеркивается, что знания, умения и навыки начальника караула лежат в основе успешных профессиональных действий личного состава при ликвидации чрезвычайной ситуации [1]. В трудах Л. В. Мардахаяева указывается, что единство знаний, умений и навыков является опытом. По мнению автора опыт является совокупностью событий и переживаний в жизни человека, а также что он осознает [2]. В учебно-воспитательном процессе вузов МЧС России для проверки подготовленности курсантов и сформированности их профессионально значимых качеств применяется практика в местных пожарно-спасательных гарнизонах. Анализ специальной литературы показал, что несмотря на эффективность ее реализации существует аспект, затрудняющий процесс самореализации выпускника по профессиональ-

¹ СП 11.13130.2009 Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2009. 24 с.

ному назначению. По сути, пожарно-спасательные гарнизоны имеют индивидуальный перечень социально важных и пожароопасных объектов по классу функциональной пожарной безопасности, а также показатель количества произошедших пожаров². Вследствие этого существенной проблемой становится индивидуальное количество участия курсантов в процессе ликвидации чрезвычайной ситуации, в том числе и от вида объекта пожара. При прохождении практики курсанты больше сталкиваются с вопросами организации службы в подразделении, а не управления личным составом в ситуации риска [3].

Таким образом, возможность реализации учебной деятельности, определяемой профессиональным содержанием, ограничена рядом аспектов:

1. Приобретение обучающимися опыта профессиональной деятельности в ситуации риска зависит от количества участия в ликвидации пожаров, где выполнялась учебная деятельность схожая с профессиональной.

2. Практика ограничена непосредственным присутствием обучающихся в ситуациях риска, что препятствует возможности применения знаний и навыков для формирования опыта при решении дифференцированных профессиональных задач по уровню сложности.

3. У обучающегося не формируется опыт управления подчиненным личным составом.

Вышеперечисленное определяет слабую взаимосвязь теории и практики, которая деформирует существо профессиональной подготовки и отдаляет ее от реальной деятельности по ликвидации чрезвычайной ситуации. Выделенная особенность непосредственно влияет на успешную самореализацию выпускника при исполнении обязанностей в должности начальника караула. Это обуславливает научную проблему, которая заключается в необходимости индивидуализации профессиональной подготовки курсанта для формирования опыта деятельности в ситуации риска. Для ее решения возникает потребность постоянного совершенствования учебно-воспитательного процесса вуза МЧС России. Так, В. В. Булгаковым разработана методика, которая направлена на увеличение эффективности практических занятий через поэтапное внедрение сложности содержания нормативов по пожарно-строевой подготовке и принципа соревнования между курсантами [4]. Методика стимулирует проявление

профессиональных, физических и психологических качеств курсантов [5].

Важно отметить, что любой метод практической подготовки должен быть ограничен принципом сохранения жизни и здоровья курсанта. Из этого следует, что процесс становления выпускника всегда будет ограничен учебной деятельностью, определяемой профессиональным содержанием. Одним из путей совершенствования учебно-воспитательного процесса является внедрение ситуационного моделирования профессиональной деятельности ликвидации чрезвычайной ситуации. Данный аспект, также указывается в трудах И. А. Малого и С. В. Гориновой. Авторами предложена модель практико-ориентированной среды для подготовки кадров МЧС России одной из сфер которой является развитие практических навыков с помощью моделей и виртуальных технологий [6].

В литературе моделирование представляется, как метод изучения объектов, ситуаций и явлений. Л. В. Мардахаев, под моделированием понимает создание идеальной модели целенаправленной деятельности по реализации конкретной технологии, обеспечивающей достижение определенной цели. Моделирование имеет общий или частный характер: достижение общей цели, решение частной задачи [7]. В трудах А. В. Мельникова и С. В. Беленева указывается, что моделирование способно повысить эффективность подготовки обучающихся через исследование ими процесса на моделях с дальнейшим применением полученных знаний и навыков на реальном объекте или процессе [8]. В основе моделирования лежит принцип наглядности, которая непосредственно связана с чувствительностью и наблюдательностью предметов и явлений.

Выделенная проблема определила цель исследования – провести анализ эффективности применения ситуационного моделирования в формировании опыта профессиональной деятельности на месте пожара у курсантов вуза МЧС России.

Исследование проводилось в 2021–2022 учебном году на базе класса ситуационного моделирования Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в рамках изучения дисциплины «Организация пожаротушения». В исследовании принимали участие курсанты направления подготовки 20.03.01. «Техносферная безопасность» 421 и 424 учебной группы. За время обучения был отобран 31 курсант, максимально присутствующий на занятиях.

Концептуальной основой исследования являлась разработанная нами модель принятия управленческого решения при ликвидации чрезвычайной ситуации (рис. 1).

² Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.



Рис. 1. Имитационная модель принятия управленческого решения, где: ИМ(N) – модель принятия управленческого решения в зависимости от вида объекта пожара

В основу имитационной модели разработки управленческого решения легли такие компоненты, как:

1) Совокупность управленческих решений, принимаемых руководителем тушения пожара на основе требований нормативно-правовых актов МЧС России, а также имеющегося опыта в ликвидации чрезвычайных ситуаций.

2) Совокупность ошибок, допускаемых руководителем тушения пожара вследствие необходимости оперативного принятия управленческого решения, недостаточности информации, провалов в теоретической и практической подготовленности и др.

3) Факторы профессиональной среды, такие как: оперативно-тактическая характеристика объекта пожара, наличие пострадавших, время года, время суток и др.

4) Силы и средства пожарно-спасательных подразделений на месте пожара (численность личного состава дежурных караулов, количество и тактико-технические характеристики пожарных автомобилей).

Выделенные компоненты модели непосредственно оказывают влияние на оперативность разработки и принятия правильного управленческого решения сотрудником МЧС России на месте пожара. Изменение компонентов модели позволяет создавать уникальные условия для разработки альтернатив принимаемых управленческих решений обучающимся.

Проверка работоспособности имитационной модели осуществлялась с помощью учебного модуля для формирования профес-

сионально значимых качеств курсантов МЧС России [9]. Учебный модуль состоял из 15 практико-ориентированных задач по тушению пожаров, на объектах следующих классов по пожарной опасности: Ф1.1 – медицинские организации, в которых круглосуточно оказывается медицинская помощь в стационаре; Ф1.2 – гостиницы; Ф1.3 – многоквартирные жилые дома, а также общежития квартирного типа; Ф3.1 – объекты торговли. Задачи были разделены на два уровня сложности. Простой уровень – начальник караула. Сложный уровень – оперативный дежурный. Каждая задача имела схожую структуру:

1. **Тактический замысел:** должность обучающегося при ликвидации чрезвычайной ситуации, обстановка на момент прибытия на место пожара (текстовое описание чрезвычайной ситуации, а также фото объекта пожара или видео обстановки), имеющиеся в подчинении пожарные автомобили и личный состав.

2. **Разведка пожара:** анализ обстановки при прибытии на место вызова, расчет требуемых показателей для организации управления силами и средствами (площадь пожара, количество приборов подачи огнетушащих веществ, количество пожарных автомобилей для обеспечения фактического расхода огнетушащих веществ, требуемое количество личного состава по видам работ для достижения условий локализации пожара, требуемое количество отделений на основных пожарных автомобилях для определения ранга пожара), принимаемые решения по результатам разведки.

3. Расстановка сил и средств: реализация тактического замысла обучающимся в рамках требования нормативно-правовых актов МЧС России.

4. Управление личным составом отделений: краткие и четкие команды командирам отделений и начальникам караулов, обеспечивающих виды работ для достижения условий локализации пожара.

В 7 семестре обучающиеся решали практико-ориентированные задачи на уровне сложности «начальник караула». В течение 8 семестра внедрялись задачи, рассматривающие действия оперативного дежурного. В процессе исследования решаемые задачи курсантами не повторялись. Вначале занятия преподаватели объясняли обучающимся особенности работы с учебным модулем и общую последовательность решения ситуационной задачи. Оценочная ведомость решения ситуационной практико-ориентированной задачи была разделена на пять разделов, каждый из которых имел перечень возможных ошибок. Перечень ошибок формировался на основе анализа нормативно-правовых актов, регламентирующих деятельность сотрудника МЧС России при управлении дежурным караулом в ситуации риска, а также опроса преподавателей кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ. Представленный перечень ошибок не является окончательным и может подлежать коррекции. Изменение содержания совокупности ошибок в разделах осуществляется при изучении оперативно-тактической характеристики объектов пожара, технологического процесса, а также технологий деятельности сотрудника МЧС России при ликвидации чрезвычайной ситуации.

В разделе «оценка обстановки» выделены допускаемые ошибки:

1.1. Не раскрыта оперативно-тактическая характеристика объекта пожара.

1.2. Не определены внешние признаки чрезвычайной ситуации.

В графе «расчет сил и средств» выделены допускаемые ошибки:

2.1. Неправильно определена площадь пожара.

2.2. Неправильно определено количество приборов подачи огнетушащих веществ на тушение пожара и защиту.

2.3. Неправильно определена численность основных пожарных автомобилей для обеспечения подачи фактического расхода воды.

2.4. Неправильно определена численность личного состава для обеспечения видов работ для достижения локализации пожара.

2.5. Неправильно определена численность отделений на основных пожарных автомобилях для определения ранга пожара.

В графе «решения по результатам разведки» выделены допускаемые ошибки:

3.1. Неправильно выбрано решающее направление сосредоточения и ввода сил и средств.

3.2. Неправильно выбран водоисточник для установки пожарного автомобиля.

3.3. Неправильно выбрано место ввода сил и средств в объект пожара.

3.4. Неправильно определены направления распространения пожара.

3.5. Не определена угроза людям.

3.6. Неверно определен ранг пожара.

3.7. Не учитывались частные условия ликвидации чрезвычайной ситуации.

В графе «расстановка сил и средств» выделены допускаемые ошибки:

4.1. Неправильная расстановка отделений на схеме ликвидации чрезвычайной ситуации.

4.2. Не указано решающее направление боевых действий.

4.3. Неправильно выбраны боевые позиции ствольщиков.

4.4. Не выставлены посты безопасности газодымозащитной службы.

4.5. Не обеспечена бесперебойная подача воды.

В графе «отдача распоряжений» выделены допускаемые ошибки:

5.1. Команды не краткие.

5.2. Команды содержат размытое содержание поставленной задачи.

Первоначальный замер уровня подготовленности курсантов проводился в седьмом семестре (рис. 2). Результаты показали, что у обучающихся в начале четвертого года обучения на высоком уровне сформированы навыки по оценке оперативной обстановки при ликвидации чрезвычайной ситуации. Так, при решении ситуационных задач курсантами передавалось сообщение диспетчеру гарнизона, содержащее необходимую информацию об объекте пожара и особенностях его развития. Курсанты правильно прогнозировали оперативную обстановку путем определения площади пожара и требуемого количества приборов подачи огнетушащих веществ на тушение и защиту. Однако был существенный провал при определении численности личного состава для обеспечения видов работ для достижения локализации пожара 11 %. По совокупности, наибольшее количество допущенных ошибок наблюдалось при принятии управленческих решений по результатам разведки и расстановки сил и средств. В частности, при выборе места ввода сил и средств в объект пожара 9 %,

определении направлений распространения пожара 9 %, расстановки отделений на месте вызова 8 % и выборе боевых позиций стволовиков 8 %. Полученные результаты доказывают недостаточный объем накопленного опыта деятельности начальника караула у бакалавров в начале четвертого года обучения.

Данная особенность, также проявилась при обсуждении ситуационных задач в составе учебной группы. Курсанты не осознавали важность принимаемых управленческих решений в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов МЧС России, поэтому они были необдуманные и легкомысленные. Так, при установке пожарного автомобиля на границах тушения пожара не учитывались его тактико-технические характеристики, а также оснащение пожарно-техническим оборудованием и инструментом согласно таблице положенности. А при расстановке сил и средств не учитывалась численность подчиненного личного состава.

С целью формирования у курсантов наглядно-образного мышления преподаватели прогнозировали положительный или отрицательный результат принимаемого решения для всего процесса ликвидации чрезвычайной ситуации. При этом указывалась конкретная ста-

тья из нормативно-правового акта МЧС России, а также опыт реальной деятельности подразделений местных пожарно-спасательных гарнизонов. Также, интерес для диалога представляли частные особенности тушения пожаров, присутствующие в основе практико-ориентированных задач. Частные особенности раскрывались в процессе моделирования обучающимися управленческой деятельности сотрудника МЧС России на месте пожара. Ситуационное моделирование наглядно показывало обучающимся необходимость реализации оперативно-тактических действий направленных на вскрытие кровли при пожаре на чердаке, организацию требуемой численности звена газодымозащитной службы при тушении пожара в здании повышенной этажности, применения объемного тушения в подвале, вскрытия конструкций при пожаре здания V степени огнестойкости, разведки подвали и чердака при развившемся пожаре на этаже здания.

Дальнейшее прохождение обучения в классе ситуационного моделирования показало положительную динамику в представлении курсантами деятельности начальника караула при ликвидации чрезвычайной ситуации (рис. 3).

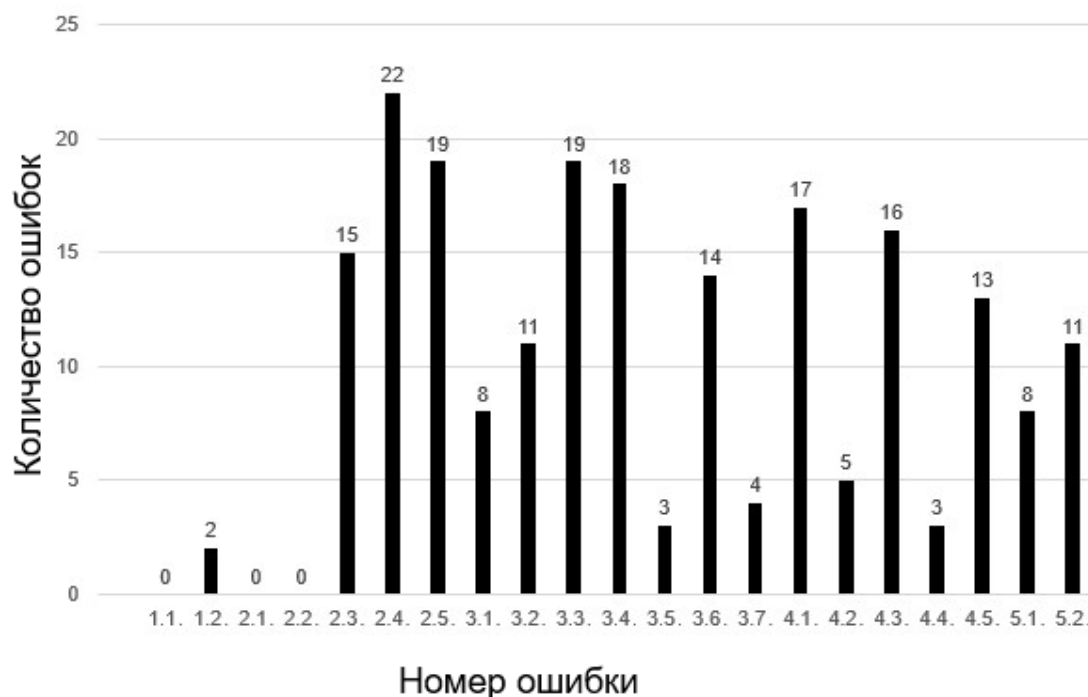


Рис. 2. Результат первоначального замера подготовленности курсантов в седьмом семестре

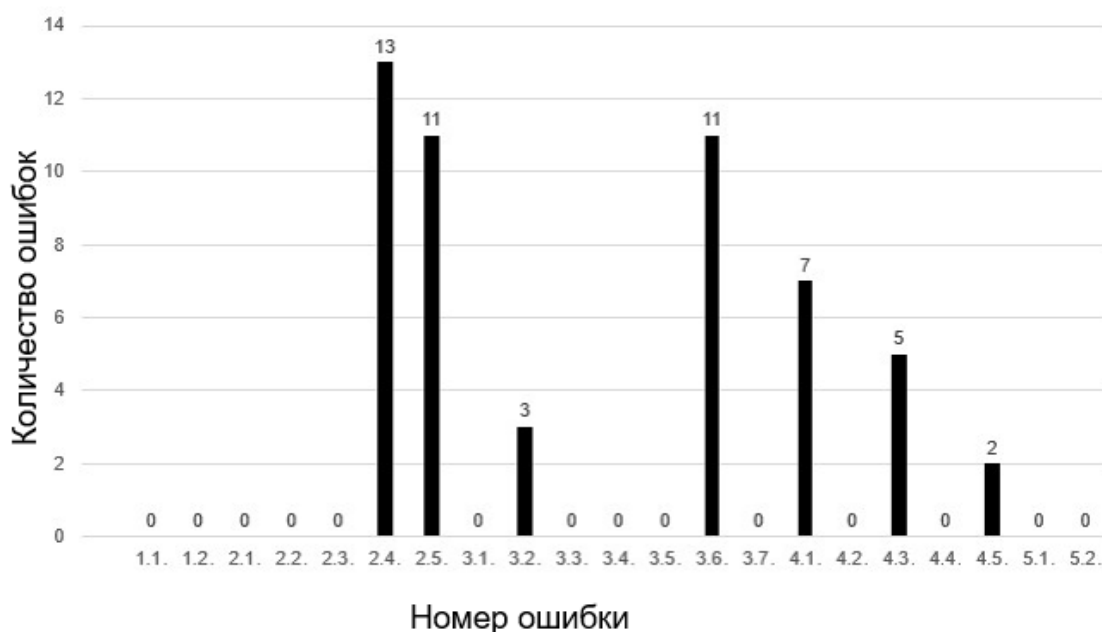


Рис. 3. Результат подготовленности курсантов в конце восьмого семестра

Основные ошибки были допущены курсантами при определении численности личного состава по обеспечению видов работ для достижения локализации пожара 25 %, определении численности отделений на основных пожарных автомобилях 21 % и соответственно ранга пожара 21 %. То есть, большинство курсантов, к завершению обучения в вузе МЧС России, затрудняются на адаптивном (низком) уровне разработать (представить «у себя в голове») общий тактический замысел ликвидации чрезвычайной ситуации и разложить его на отдельные виды работ (частные технологии деятельности). Одна из причин, оказывающая существенное влияние на результат подготовки, заключается в невозможности осуществления курсантом управленческой деятельности начальника караула при ликвидации чрезвычайной ситуации в процессе практики в местном пожарно-спасательном гарнизоне. Так как, данная деятельность происходит в среде с наличием совокупности факторов риска воздействующих на личность сотрудника МЧС России. То есть, за время несения службы сотрудник МЧС России участвует в тушении пожаров, различающихся между собой сложностью и последствием трагических событий, что приводит к приобретению уникального практического опыта.

Опыт принятия управленческих решений является залогом успеха тушения пожара, а с другой стороны может привести к трагическим последствиям. Сотрудник МЧС России, сталкиваясь с типичной профессиональной

ситуацией множество раз, со временем игнорирует требования нормативно-правовых актов и нерационально оценивает риск. При этом всегда существует вероятность возникновения пожара на объекте, который ни разу не встречался в практической деятельности сотрудника (только в рамках тактической подготовки: решение пожарно-тактической задачи на местности и пожарно-тактическое учение). Также, при решении типичной профессиональной ситуации, процесс тушения пожара может происходить не по тактическому замыслу из-за деструктивных событий (большое количество спасаемых людей, быстрое распространение огня, обрушение конструкций, гибель пожарных и др.).

Выделенную особенность важно учитывать в подготовке курсанта, так как он должен уметь оперативно разрабатывать и корректировать тактический замысел, а также реализовывать его путем принятия управленческих решений. Преподаватели на основе ситуационного моделирования способны создавать профессиональную среду и разрабатывать частные особенности профессиональных ситуаций, которые решаются по принципу от «простого к сложному» или от «единичного к комплексному». Таким образом, результативность внедрения ситуационного моделирования напрямую зависит от педагогического мастерства и практического опыта преподавателя. Педагогическое мастерство преподавателя позволяет видеть провалы в подготовленности каждого курсанта и адаптировать уровень

сложности решаемой ситуационной задачи (элемент модели оперативной обстановки, объект пожара, тактико-технические характеристики пожарных автомобилей и др.). При этом первостепенной целью подготовки является не конечный вывод по решаемой задаче, а обоснованная последовательность действий при ликвидации отдельной составляющей чрезвычайной ситуации. В трудах Л. В. Мардахаева подчеркивается, что у преподавателя должен быть уникальный «творческий подход» и «своеобразие личности», которые проявляются в обаянии, отношении к делу и индивидуальном стиле [6]. Это подчеркивает тот факт, что профессионализм и личная примерность преподавателя в процессе учебной деятельности способны направить курсанта на правильное применение требований нормативно-правовых актов МЧС России, мотивировать его на овладение профессией, в том числе более детально изучать существо технологий деятельности пожарного и спасателя.

Список литературы

1. Булгаков В. В. Оценка практических умений и навыков выпускников в области проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения // Проблемы современного образования. 2020. № 2. С. 164–173. DOI: 10.31862/2218-8711-2020-2-164-173.
2. Мардахаев Л. В. Целенаправленное воспитание подрастающего поколения // ЦИТИСЭ. 2022. № 2 (32). С. 191–205. DOI: <http://doi.org/10.15350/2409-7616.2022.2.17>.
3. Ермилов А. В. Формирование профессионально значимых качеств бакалавров в вузах МЧС России: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. Орел, 2020. 204 с.
4. 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.
5. Булгаков В. В. Формирование профессиональных умений и навыков, физических и психологических качеств пожарных // Отечественная и зарубежная педагогика. 2019. Т. 1. № 3 (60). С. 105–120. DOI: 10.24411/2224-0772-2019-10021.
6. Малый 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. Регио-

По результатам исследования можно судить, что разработанная нами модель выработки управленческого решения построена правильно и адекватна требованиям к выпускнику вуза МЧС России. Ситуационное моделирование оказывает положительное влияние на процесс профессионального становления курсанта за счет погружения в деятельность должностных лиц при ликвидации чрезвычайной ситуации. Решая практико-ориентированные задачи и обсуждая правильность разработки тактического замысла, курсанты понимают технологию ликвидации чрезвычайной ситуации с учетом частных особенностей профессиональных действий. Данная особенность способна оказать положительное влияние при адаптации выпускника в должности начальника караула пожарно-спасательной части после завершения обучения в вузе МЧС России. Таким образом, разработанная модель выработки управленческого решения рекомендуется к внедрению в учебную деятельность курсантов других вузов МЧС России.

нальное приложение. 2016. № 4 (48). С. 136–142.

7. Мардахаев Л. В. Социальная педагогика: учебник. М.: Гардарики, 2005. 269 с.
8. Мельников А. В., Беленев С. В. Педагогические условия моделирования реальных ситуаций служебно-боевой деятельности // Вестник Воронежского института МВД России. 2008. № 3. С. 63–66.
9. Ермилов А. В. Учебный модуль для формирования профессионально значимых личностных качеств курсантов МЧС России // Педагогическое образование в России. 2017. № 7. С. 123–128.

References

1. Bulgakov V. V. Ocenka prakticheskikh umenij i navykov vpusknikov v oblasti provedeniya avarijno-spasatel'nyh rabot i pozharotusheniya [Assessment of practical skills and abilities of graduates in the field of emergency rescue and fire fighting]. *Problemy sovremennogo obrazovaniya*, 2020, issue 2. pp. 164–173. DOI: 10.31862/2218-8711-2020-2-164-173.
2. Mardahaev L. V. Celenapravlennoe vospitanie podrastayushchego pokoleniya [Purposeful education of the younger generation]. *CITISE*, 2022, vol. 2 (32), pp. 191–205. DOI: <http://doi.org/10.15350/2409-7616.2022.2.17>.
3. Ermilov A. V. Formirovanie professional'no znachimykh kachestv bakalavrov v vuzah MCHS Rossii. Diss. kand. ped. nauk [Formation of professionally significant qualities of bachelors in the universities of the Ministry of Emergency Situ-

ations of Russia. Cand. ped. sci. diss.]. Orel, 2020. 204 p.

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

5. Bulgakov V. V. Formirovanie professional'nyh umenij i navykov, fizicheskikh i psihologicheskikh kachestv pozharnyh [Formation of professional skills, physical and psychological qualities of firefighters]. *Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika*, 2019, vol. 1, issue 3 (60), pp. 105–120. DOI: 10.24411/2224-0772-2019-10021.

6. 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 in the training of managerial

personnel in the field of fire safety, protection of the population and territories from emergency situations]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2016, vol. 4 (48), pp. 136–142.

7. Mardahaev L. V. *Social'naya pedagogika: uchebnik*. [Social pedagogy: textbook]. M.: Gardariki, 2005, 269 p.

8. Mel'nikov A. V., Belenev S. V. Pedagogicheskie usloviya modelirovaniya real'nyh situacij sluzhebno-boevoj deyatel'nosti [Pedagogical conditions for modeling real situations of service and combat activity]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*, 2008, issue 3, pp. 63–66.

9. 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 Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*, 2017, issue 7, pp. 123–128.

Ермилов Алексей Васильевич

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

кандидат педагогических наук, доцент

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

candidate of pedagogical sciences, associate professor

E-mail: skash_666@mail.ru

Мардахаев Лев Владимирович

Российский государственный социальный университет,

Российская Федерация, г. Москва

доктор педагогических наук, профессор, профессор

E-mail: mantissa-m@mail.ru

Mardakhaev Lev Vladimirovich

Russian State Social University

Russian Federation, Moscow

doctor of pedagogical sciences, professor, professor

E-mail: mantissa-m@mail.ru

Воленко Ольга Ивановна

Московский педагогический государственный университет,

Российская Федерация, г. Москва,

доктор педагогических наук, профессор, главный научный сотрудник

E-mail: docenza@mail.ru

Volenko Olga Ivanovna

Moscow Pedagogical State University,

Russian Federation, Moscow

doctor of pedagogical sciences, professor, chief researcher

E-mail: docenza@mail.ru

Багажков Игорь Владимирович

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

кандидат химических наук, доцент

E-mail: big-99@mail.ru

Bagazhkov Igor Vladimirovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: big-99@mail.ru

УДК 614.842.6

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

М. А. МАРЕЕВ¹, А. Н. ДЕНИСОВ²

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

² Академия ГПС МЧС России
Российская Федерация, г. Москва

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

В ходе организации боевых действий при пожаре руководитель тушения пожара должен учитывать большое количество факторов, среди которых оперативно-техническая характеристика объекта, условия развития пожара, тактика тушения и направления ввода сил и средств. Без информационно-аналитической поддержки это становится делать труднее. При моделировании управленческих решений средства пожаротушения представлены в виде гидравлической системы, а затем соотносены к электрическим и механическим системам. В публикации обоснована возможность применения метода электрогидравлических аналогий для моделирования процесса поддержки управления подразделениями пожарной охраны при тушении пожаров. Представлены преимущества метода электрогидравлических аналогий для использования в задачах поддержки управления подразделениями пожарной охраны, разработана математическая модель в виде гидравлической системы на месте пожара.

Ключевые слова: электрогидравлические аналогии, подразделения пожарной охраны, эффективность, математическая модель, цистерна, метод, поддержка, управление, пожар, руководитель тушения пожара.

FEATURES OF APPLICATION OF THE METHOD OF ELECTROHYDRAULIC ANALOGIES TO CONTROL FIRE AND RESCUE DIVISIONS IN FIRE EXTINGUISHING

M. A. MAREEV¹, A. N. DENISOV²

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

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

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

During the organization of combat operations in case of fire, the fire extinguishing manager must take into account a large number of factors, including the operational and technical characteristics of the object, the conditions of fire development, extinguishing tactics and the directions of the input of forces and means. Without information and analytical support, it becomes more difficult to do this. When modeling management decisions, fire extinguishing means are presented in the form of a hydraulic system, and then correlated to electrical and mechanical systems. The publication substantiates the possibility of using the method of electrohydraulic analogies to simulate the process of supporting the management of fire protection units during fire extinguishing. The advantages of the method of electrohydraulic analogies for use in the tasks of supporting the management of fire departments are presented, a mathematical model in the form of a hydraulic system at the fire site is developed.

Key words: electrohydraulic analogies, fire and rescue units, support efficiency, mathematical model, tank car, method, support, management, fire, fire extinguishing manager.

К настоящему времени отечественными и зарубежными учеными (Н. Н. Брушлинским, В. В. Белозеровым, С. Ю. Бутузовым, В. Я. Вилисовым, А. Н. Денисовым, Б. М. Правновым, Ю. В. Прусом, С. В. Соколовым, В. А. Седневым, В. Л. Семиковым, Н. Г. Топольским, И. Я. Кимстачем, В. А. Минаевым, Joeger, S., Zhenhua, Z., Wang, J. и др.) предлагается более 20 теоретических методов по управлению и поддержке управления пожарно-спасательными подразделениями [1–3, 5–8, 10–23].

При применении ряда алгоритмов и методов поддержки управления подразделениями пожарной охраны при тушении пожаров можно выделить следующие проблемы:

- недостаточная достоверность полученных результатов и, соответственно, невозможность использования полученных алгоритмов управления на практике;

- недостаточно полные исходные данные для выбора оптимального алгоритма управления пожарно-спасательными подразделениями в каждом конкретном случае во время тушения пожара;

- недостаточно наполненные базы данных в случае использования систем поддержки принятия решений для анализа статистических данных;

- в некоторых методах управления используются устаревшие информационные технологии.

Таким образом, основным недостатком предлагаемых отечественных и зарубежных исследований является сложность обучения ими, и использования на месте пожара.

Одним из методов, который может быть применен для поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров, является метод электрогидравлических аналогий.

Данный метод впервые предложен Максвеллом. Его суть заключается в том, что гидравлическую схему можно представить в виде электрической цепи, заменив гидродинамические компоненты (насосы, задвижки, резервуары и т.д.) на электрические аналоги (источники тока, резисторы и т.д.) [4].

Для полной аналогии необходимо ещё учесть размерные коэффициенты.

При этом происходит замена гидродинамических параметров (расход, давление и т.д.) на электрические (напряжение, ток и т.д.).

Преобразования по данному методу представим в виде рис. 1.

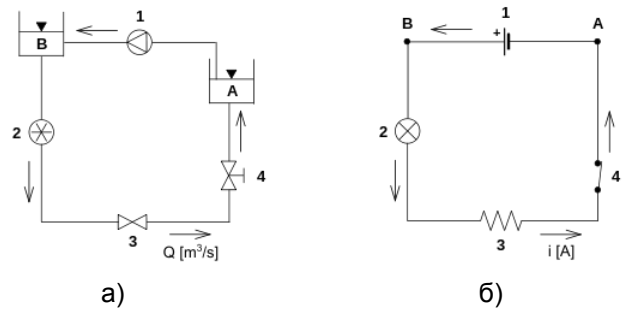


Рис. 1. Преобразования по методу электрогидравлических аналогий:

- а) гидравлическая схема,
б) электрическая схема.

Пожарный автомобиль (рис. 1а) можем представить в виде гидравлической системы. Для моделирования размещений пожарных подразделений в населённых пунктах и организациях разрабатывается электрическая схема, где процесс ведения боевых действий представляется в виде ключа.

Достоинства данного метода моделирования:

- обеспечение возможности решения задач большой размерности;
- обеспечение возможности учёта интегральных ограничений;

- учёт динамических ограничений на скорость сброса/набора;

- простой способ учёта ограничений типа равенство и неравенство;

- позволяет легко вносить изменения в целевую функцию решаемой задачи;

- позволяет свести многомерную задачу к одномерной;

- простота добавления ограничений на параметры расчёта.

Недостатки: недостаточно изучен по сравнению с другими методами, рассмотренными в рамках выполнения работы.

Основной задачей при использовании данного метода является разработка модели посредством аналогий. Для этого необходимо рассмотреть математические модели основных элементов пожарных схем.

Рассмотрим идеализированную гидравлическую систему на месте тушения пожара (рис. 2). Данная система состоит из цистерны, фильтра, насоса, клапана и гидравлического двигателя.

В качестве примера формализуем математическую модель механической системы состоящего из двигателя, ротор которого рассматривается как твердое тело, муфты и насоса.

Примем следующие обозначения: J_{m1} – момент инерции ротора двигателя с ведущей полумуфтой; J_{m2} – момент инерции ведомой

полумуфты; J_{r1} и J_{r2} – моменты инерции роторов насоса; J_{k1} , J_{k2} – моменты инерции одинаковых зубчатых колес.

Угловые жесткости участков валов обозначаем как c_{v1} , c_{v2} и c_{v3} , а коэффициенты диссипации этих участков – как k_{v1} , k_{v2} и k_{v3} соответственно.

С двигателем насос соединяется с помощью упругой муфты, передающей момент двигателя M_{dv} .

На роторы действуют моменты сил давления на профилированные роторы M_{r1} и M_{r2} , моменты сил трения этих роторов о воду или воздух M_{d1} и M_{d2} , а также моменты сил трения в подшипниках M_{p1} , M_{p2} .

Систему дифференциальных уравнений, описывающих процессы в такой механической системе, записываем в виде:

$$\begin{aligned}
 J_{m1} \frac{d^2 \varphi_{m1}}{dt^2} &= \left(M_{dv} - c_m(\varphi_{m1} - \varphi_{m2}) - k_m \left(\frac{d\varphi_{m1}}{dt} - \frac{d\varphi_{m2}}{dt} \right) \right); \\
 J_{m2} \frac{d^2 \varphi_{m2}}{dt^2} &= \left(c_m(\varphi_{m1} - \varphi_{m2}) + k_m \left(\frac{d\varphi_{m1}}{dt} - \frac{d\varphi_{m2}}{dt} \right) - c_{v1}(\varphi_{m2} - \varphi_{r1}) - k_{v1} \left(\frac{d\varphi_{m2}}{dt} - \frac{d\varphi_{r1}}{dt} \right) \right); \\
 J_{r1} \frac{d^2 \varphi_{r1}}{dt^2} &= \left(c_{v1}(\varphi_{m2} - \varphi_{r1}) + k_{v1} \left(\frac{d\varphi_{m2}}{dt} - \frac{d\varphi_{r1}}{dt} \right) - c_{v2}(\varphi_{r1} - \varphi_{k1}) - k_{v2} \left(\frac{d\varphi_{r1}}{dt} - \frac{d\varphi_{k1}}{dt} \right) - M_{r1} - M_{d1} \right); \\
 J_{k1} \frac{d^2 \varphi_{k1}}{dt^2} &= \left(c_{v2}(\varphi_{r1} - \varphi_{k1}) + k_{v2} \left(\frac{d\varphi_{r1}}{dt} - \frac{d\varphi_{k1}}{dt} \right) + c_{v3}(\varphi_{k2} - \varphi_{r2}) + k_{v3} \left(\frac{d\varphi_{k2}}{dt} - \frac{d\varphi_{r2}}{dt} \right) \right); \\
 J_{k2} \frac{d^2 \varphi_{k2}}{dt^2} &= \left(-c_{v3}(\varphi_{r1} - \varphi_{k1}) - k_{v2} \left(\frac{d\varphi_{r1}}{dt} - \frac{d\varphi_{k1}}{dt} \right) - c_{v3}(\varphi_{k2} - \varphi_{r2}) - k_{v3} \left(\frac{d\varphi_{k2}}{dt} - \frac{d\varphi_{r2}}{dt} \right) \right); \\
 J_{r2} \frac{d^2 \varphi_{r2}}{dt^2} &= \left(c_{v3}(\varphi_{k2} - \varphi_{r2}) + k_{v3} \left(\frac{d\varphi_{k2}}{dt} - \frac{d\varphi_{r2}}{dt} \right) + M_{r2} + M_{d2} \right);
 \end{aligned} \tag{1}$$

Пожарный насос роторного типа состоит из корпуса, имеющего входное и выходное отверстия. Внутри корпуса расположены два криволинейно-профилированных ротора, вращающихся с одинаковыми скоростями в противоположных направлениях.

Это приводит к уменьшению объема рабочей среды возле выпускного отверстия и увеличению объема возле входного отверстия.

Система уравнений (2) составляет динамическую модель изменения давлений в полостях нагнетания, локализации и всасывания соответственно:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dp_{nag}}{dt} &= c_{nag} (Q_{p_nag} - Q_{nag} - Q_{vtr_v1} - Q_{vtr_v2} - Q_{vtr_p} - Q_{vtr_t}); \\
 \frac{dp_{loc}}{dt} &= c_{loc} (Q_{vtr_v1} - Q_{vtr_t}); \\
 \frac{dp_{vsm}}{dt} &= c_{vsm} (Q_{p_vsm} + Q_{vsm} + Q_{vtr_l1} + Q_{vtr_p} + Q_{vtr_t});
 \end{aligned} \right\}, \tag{2}$$

где p_{nag} , p_{loc} , p_{vsm} – давление в полостях нагнетания, локализации и всасывания соответ-

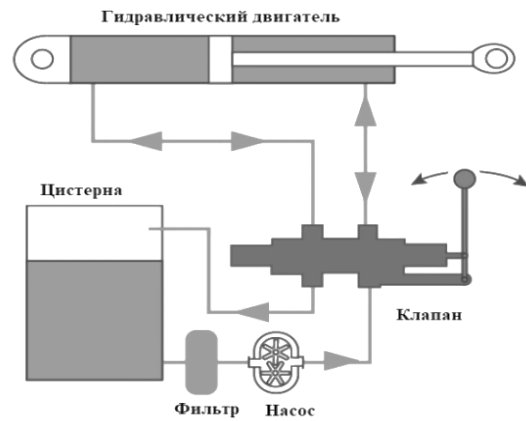


Рис.2. Гидравлическая система на месте пожара

ственно; c_{nag} , c_{loc} , c_{vsm} – объемная жесткость соответствующих полостей насоса и рукавов; Q_{vtr_t} , Q_{vtr_p} , Q_{vtr_v} – объемные потери жидкости в торцевых, профильных и радиальных зазорах; Q_{nag} , Q_{vsm} – объемные расходы жидкости на выходе и входе насоса; Q_{p_nag} , Q_{p_vsm} – объемные расходы жидкости, переносимые ротором в полость нагнетания из полости всасывания.

Анализ результатов теоретических исследований, представленных в работе [9] позволяет сделать вывод, что пожарные насосы с трехлопастными роторами за один оборот нагнетают объем жидкости $V_{раб} = 6,32 \times 10 - 5 \times 6 = 0,0003792 \text{ м}^3$, а насосы с двухлопастными роторами – объем жидкости $V_{раб} = 0,0001786 \times 4 = 0,0007144 \text{ м}^3$.

Следовательно, при одинаковых диаметрах и частоте вращения роторов, производительность двухлопастного насоса в 1,88 раза больше по сравнению с производительностью трехлопастного.

Это будет учтено при моделировании управления пожарно-спасательными подразделениями во время тушения пожара.

Используя систему уравнений (2), учитывая, что и давление, и объем камер нагнетания и всасывания являются зависимыми от времени. Например, $V_{vsm} = (0,0012 \cdot F_i + c) \cdot L_{rot}$,

$$\frac{dp_{vsm}}{dt} = \frac{\sqrt{RT_k} (\mu_i S_i \varphi_i P_{i-1} - \mu_j S_j \varphi_j P_i) - 0,0012 \omega_r L_{rot} P_i}{V_{vsm}}, \quad (3)$$

а для полости нагнетания

$$\frac{dp_{nag}}{dt} = \frac{\sqrt{RT_k} (\mu_i S_i \varphi_i P_{i-1} - \mu_j S_j \varphi_j P_i) + 0,0012 \omega_r L_{rot} P_i}{V_{nag}}. \quad (4)$$

Объем локализованной полости постоянный, а скорость изменения давления в ней выражается соотношением

$$\frac{dp_{loc}}{dt} = \frac{\sqrt{RT_k} (\mu_i S_i \varphi_i P_{i-1} - \mu_j S_j \varphi_j P_i)}{V_{loc}}, \quad (5)$$

где R – газовая постоянная; T_k – абсолютная температура воздуха; p – давление воздуха; V – объем соответствующей рабочей полости (камеры); S_i, S_j – наименьшее проходное сечение; φ_i, φ_j – коэффициенты истечения из i -го и j -го ротора.

Данную математическую модель учтём при применении метода электрогидравлических аналогий.

Спрос на тушащее вещество описывает количество, которое используется пожарно-спасательным подразделением, что может быть выражено как:

$$Q_{k,treb} = DM_k Q_{k,baz}, \quad (6)$$

где $Q_{k,treb}$ – требуемый спрос в k -м узле; DM_k – узловой множитель спроса в k -м узле, который динамически изменяется в течении тушения пожара; $Q_{k,baz}$ – базовый спрос k -го узла.

Фактический спрос описывает количество, которое пожарно-спасательные подразделения могут использовать. Чтобы получить фактический спрос, модель Вагнера используется для расчета узлового спроса на сети с отказами компонентов:

$$Q_{k,t} = \begin{cases} 0, P_{k,t} \leq P_{k,мин} \\ Q_{k,treb} \sqrt{\frac{P_{k,t} - P_{k,мин}}{P_{k,раб} - P_{k,мин}}}, P_{k,мин} < P_{k,t} < P_{k,раб} \\ Q_{k,treb}, P_{k,раб} \leq P_{k,t} \end{cases} \quad (7)$$

где $P_{k,t}$ – вычисленное давление в k -м узле на временном шаге t .

где константа c зависит от координаты движения ротора. Тогда уравнение для определения изменения давления в полости всасывания будет выглядеть следующим образом:

Гидравлическая система (ГС) содержит клапаны, которые позволяют изолировать сегменты, чтобы ограничить эффект разрыва. Следовательно, клапаны являются решающим фактором при оценке надежности ГС при каскадных отказах.

ГС имеют неопределенности в отношении пространственно-временных колебаний потребности. Эти неопределенности влияют на сеть и могут привести к отказу гидравлической системы. Как обсуждалось в работе [11], когда «запрос на давление» минимален, неопределенности приводят только к небольшому увеличению гидравлического отказа по сравнению с отказом из-за разрыва, а узловая надежность определяется только механическим отказом.

Рассмотрим предположения по оценке надежности гидравлической системы на месте тушения пожара как элементе системы управления поддержкой пожарно-спасательных подразделений.

1. Узлы. У каждого узла спроса есть три состояния: работа, сбой или сокращение обслуживания.

Узел является работоспособным, если его узловое давление не выше максимальной производительности и не ниже минимальной производительности.

Снижение рабочего давления означает, что узловое давление выше минимального давления, но ниже рабочего давления.

2. Спрос на узлы. Потребность узла равномерно распределяется между звеньями, подключенными к узлу. После сбоя потребность узла обновляется в соответствии с обновлением сегментов изоляции.

3. Сценарии множественных отказов. Определенный выход из строя может привести к множественным сбоям во время тушения пожара.

4. Завершающее условие. Для каскадных отказов устанавливаются два условия завершения: (1) ни один другой канал не выходит из строя; (2) все клапаны закрыты.

Рассмотрим алгоритм учета ГС с применением метода электрогидравлических аналогий. Сначала загружаем основную информацию о ГС; здесь основная информация включает в себя информацию о топологии, т.е. матрицу вероятности, и информацию о тушащем веществе, параметрах насоса, т.е. узловой отметке.

Во-вторых, производится гидравлическое моделирование, чтобы получить рабочее давление при нормальных условиях. В качестве начальной нагрузки используем рабочее давление. Затем рассчитывается узловая пропускная способность. Для начального шага $t =$

0 представляет собой полученные нормальные условия.

В-третьих, устанавливаем параметры перед тем, как действительно начать каскадное моделирование.

В частности, устанавливаем множитель спроса для анализа взаимосвязи спроса и предложения.

Эти три параметра устанавливаются в соответствии с заданными условиями ГС. Последний параметр - это передаточное число V_R . В нем указано, сколько клапанов установлено в ГС.

На основании разработанного метода электрогидравлических аналогий разработана оптимальная схема управления пожарно-спасательными подразделениями на примере тушения пожаров в резервуарных парках.

Однако в полном объеме технократический подход, как модель организационного управления, требует широкой дискуссии.

Список литературы

1. Топольский Н. Г., Слуев В. И., Холостов А. Л. Информационное обеспечение поддержки принятия решений по спасению людей в опасных ситуациях // Технологии техносферной безопасности. 2010. № 4. С. 12.

2. Multi-Agent Analysis Model of Resource Allocation Variants To Ensure Fire Safety / A. Smirnov, R. Khabibulin, N. Topolski [et al.]. Proceedings of the 21 International Conference on Enterprise Information Systems, 2019. pp. 379–386. DOI: 10.5220/0007716403910398.

3. Кимстач И. Я., Девлицев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика. М.: Стройиздат, 1984. 590 с.

4. Костишин В. С. Моделирование режимов работы центробежных насосов на основе электрогидравлической аналогии. Иванов-Франковск: ИФДТУНГ. 2000. 115 с.

5. Моделирование системы поддержки принятия управленческих решений при ликвидации автомобильных аварий с опасным грузом / А. А. Кирсанов, В. В. Сеницын, В. В. Татаринов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. № 2 (84). 2019. С. 84–90. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-2/12-02-19.ttb.pdf> (дата обращения: 13.01.2022).

6. Joerger S. Modern wood-frame construction: firefighting problems and tactics // Fire Engineering. 2014, vol. 167, issue 1.

7. Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles / Z. Zhenhua, H. Qing, G. Jizhan [et al.]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016,

vol. 65, pp. 97–110. DOI: 10.1016/j.trc.2016.01.015.

8. Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control / J. Wang, M. Yun, W. Ma [et al.]. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 2013, vol. 96, pp. 2147–2158. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.08.242.

9. Ostfeld, A. Reliability analysis of regional water distribution systems. Urban Water 2012, issue 3, pp. 253–260.

10. Belozero V., Denisov A., Nikulin M. Integration of fire protection of farmland, steppe and forest tracts with agrotechnical processes of their treatment with the help of airships. VIII International Scientific and Practical Conference. Innovative technologies in science and education» (ITSE 2020), 2020, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021001009>

11. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе: учебник. М.: Академия МЧС России, 2011. 173 с.

12. Вилисов В. Я., Семиков В. Л., Алексеев С. П. Система моделей для анализа эффективности реагирования подразделений противопожарной службы // Технологии техносферной безопасности. 2019. № 3 (85). С. 65–76. URL: <http://agps2006.narod.ru/ttb/2019-3/04-03-19.ttb.pdf> (дата обращения: 29.03.2020).

13. Денисов А. Н. Метод оперативного управления пожарными подразделениями // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XVII международной конференции. М.: РГГУ, 2009. С. 323–327.

14. Топольский Н. Г., Денисов А. Н. Модели и методы управления силами и средствами пожарно-спасательных формирований при тушении пожаров // Автоматизированные системы и средства предотвращения и ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций: сборник научных статей. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. С. 159–166.

15. Модели оптимального распределения кадровых ресурсов противопожарной службы на основе типологизации территорий по пожарным рискам / В. А. Минаев, Н. Г. Топольский, Б. Н. Коробец [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 6. С. 18–30.

16. Семиков В. Л., Ушаков В. Д. Теория организации в схемах и таблицах. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 257 с.

17. Информационно-аналитическое обеспечение поддержки управления поисково-спасательными работами / Н. Г. Топольский, В. Л. Семиков, О. В. Яковлев [и др.] // Системы управления и информационные технологии. 2016. № 4-1 (66). С. 194–196.

18. Бережной Д. А., Бутузов С. Ю., Николаенко Е. В. Математическая цифровая модель оценки эффективности информационного метаболизма должностных лиц системы оповещения в чрезвычайной ситуации // Технологии техносферной безопасности. 2022. Вып. 1 (95). С. 131–140. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.1.95.131-140>.

19. Прус М. Ю. Стохастическое моделирование каскадных сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций // Технологии техносферной безопасности. 2022. Вып. 1 (95). С. 170–195. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.1.95.170-195>

20. Синергетика и интеграция агротехнологий и технологий противопожарной защиты сельхозугодий, лесов и торфяников / В. В. Белозеров, И. В. Ворошилов, А. Н. Денисов [и др.] // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 13–19. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37692> (дата обращения: 14.01.2022).

21. Модель и алгоритм управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на металлургических предприятиях при разгрузке сырья из подвижного железнодорожного состава / А. Н. Денисов, М. М. Данилов, И. Г. Цокурова [и др.] // Computational nanotechnology. 2021. Т. 8. № 1. С. 59–67. DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-1-59-67.

22. Аникин С. Н., Данилов М. М., Денисов Д. Н. Управление альтернативами выбора принятия опорных решений в тактике тушения пожаров // Вычислительная нанотехнология, Т. 7, № 4, С. 39–47. DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-4-39-47.

23. Манаков А., Едигарян А. Международный научный Сибирский транспортный форум «Транссибирь – 2021». Транссиб 2021. Конспекты лекций по сетям и системам, Издательство Springer International Publishing, т. 2. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96380-4_176.

References

1. Topolsky N. G., Sluev V. I., Kholostov A. L. Informatsionnoye obespecheniye podderzhki prinyatiya resheniy po spaseniyu lyudey v opasnykh situatsiyakh [Information support for decision-making to rescue people in dangerous situations]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2010, issue 4, p. 12.

2. Multi-Agent Analysis Model of Resource Allocation Variants To Ensure Fire Safety / A. Smirnov, R. Khabibulin, N. Topolski [et al.]. Proceedings of the 21 International Conference on Enterprise Information Systems, 2019. pp. 379–386. DOI: 10.5220/0007716403910398.

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

4. Kostishin V. S. *Modelirovaniye rezhimov raboty tsentrobezhnykh nasosov na osnove elektrogidravlicheskoj analogii* [Modeling of operating modes of centrifugal pumps based on electrohydraulic analogy]. Ivano-Frankovsk: IFDTUNG. 2000, 115 p.

5. Modelirovaniye sistemy podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy pri likvidatsii avtomobil'nykh avariy s opasnym gruzom [Modeling of the management decision support system in the elimination of automobile accidents with dangerous cargo] / A. A. Kirsanov, V. V. Sinitsyn, V. V. Tatarinov [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, vol. 2 (84), 2019, pp. 84–90. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-2/12-02-19.ttb.pdf> (data obrashcheniya: 13.01.2022).

6. Joerger S. Modern wood-frame construction: firefighting problems and tactics // Fire Engineering. 2014. vol. 167, issue 1.

7. Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles / Z. Zhenhua, H. Qing, G. Jizhan [et al.]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2016, vol. 65, pp. 97–110. DOI: 10.1016/j.trc.2016.01.015.

8. Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control / J. Wang, M. Yun, W. Ma [et al.]. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2013, vol. 96, pp. 2147–2158. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.08.242.

9. Ostfeld, A. Reliability analysis of regional water distribution systems. *Urban Water* 2012, issue 3, pp. 253–260.

10. Belozеров V., Denisov A., Nikulin M. Integration of fire protection of farmland, steppe and forest tracts with agrotechnical processes of their treatment with the help of airships. VIII International Scientific and Practical Conference. Innovative technologies in science and education» (ITSE 2020), 2020, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021001009>.
11. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V. *Matematicheskiye metody i modeli upravleniya v Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhbe: uchebnik* [Mathematical methods and management models in the State Fire Service: textbook]. M.: Akademiya MCHS Rossii, 2011. 173 p.
12. Vilisov V. Ya., Semikov V. L., Alekseev S. P. Sistema modeley dlya analiza effektivnosti reagirovaniya podrazdeleniy protivopozharnoy sluzhby [A system of models for analyzing the effectiveness of the response of fire service units]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2019, vol. 3 (85). URL: <http://agps.2006.narod.ru/ttb/2019-3/04-03-19.ttb.pdf> (data obrashcheniya: 03.29.2020).
13. Denisov A. N. Metod operativnogo upravleniya pozharными podrazdeleniyami [Method of operational management of fire departments]. *Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnykh sistem: trudy XVII mezhdunarodnoy konferentsii*. M.: RGGU, 2009, pp. 323–327.
14. Topolsky N. G., Denisov A. N. Modeli i metody upravleniya silami i sredstvami pozhar-no-spasatel'nykh formirovaniy pri tushenii pozharov [Models and methods of control of forces and means of fire-rescue formations in extinguishing fires]. *Avtomatizirovannyye sistemy i sredstva predotvrashcheniya i likvidatsii pozharov i chrezvychaynykh situatsiy: sbornik nauchnykh statey*. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2020, pp. 159–166.
15. Modeli optimal'nogo raspredeleniya kadrovyykh resursov protivopozharnoy sluzhby na osnove tipologizatsii territoriy po pozharным riskam [Models of optimal distribution of personnel resources of the fire service based on the typologization of territories by fire risks] / V. A. Minaev, N. G. Topolsky, B. N. Korobets [et al.]. *Pozharov-zryvobezopasnost'*, 2018, vol. 27, issue 6, pp. 18–30.
16. Semikov V. L., Ushakov V. D. *Teoriya organizatsii v skhemakh i tablitsakh* [Theory of organization in diagrams and tables]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2010. 257 p.
17. Informatsionno-analiticheskoye obespecheniye podderzhki upravleniya poiskovo-spasatel'nyimi rabotami [Information and analytical support for the management of search and rescue operations] / N. G. Topolsky, V. L. Semikov, O. V. Yakovlev [et al.]. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii*, 2016, vol. 4-1 (66), pp. 194–196.
18. Berezhnoy D. A., Butuzov S. Yu., Nikolaenko E. V. Matematicheskaya tsifrovaya model' otsenki effektivnosti informatsionnogo metabolizma dolzhnostnykh lits sistemy opoveshcheniya v chrezvychaynoy situatsii [Mathematical digital model for evaluating the effectiveness of information metabolism of officials of the alert system in an emergency situation]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2022, vol. 1 (95), pp. 131–140. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.1.95.131-140>.
19. Prus M. Yu. Stokhasticheskoye modelirovaniye kaskadnykh stseneriyev vozniknoveniya i razvitiya chrezvychaynykh situatsiy [Stochastic modeling of cascade scenarios of occurrence and development of emergency situations]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2022, vol. 1 (95), pp. 170–195. URL: <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.1.95.170-195>.
20. Sinergetika i integratsiya agrotekhnologiy i tekhnologiy protivopozharnoy zashchity sel'khozugodiy, lesov i torfyanikov [Synergetics and integration of agrotechnologies and fire protection technologies protection of farmlands, forests and peatlands] V. V. Belozеров, I. V. Voroshilov, A. N. Denisov [et al.]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2021, issue 10, pp. 13–19. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37692> (data obrashcheniya: 14.01.2022).
21. Model' i algoritm upravleniya pozhar-no-spasatel'nyimi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov na metallurgicheskikh predpriyatiyakh pri razgruzke syr'ya iz podvizhnogo zheleznodorozhnogo sostava [Model and algorithm of fire and rescue units management during fire extinguishing at metallurgical enterprises during unloading of raw materials from rolling railway composition] / A. N. Denisov, M. M. Danilov, I. G. Tsokurova [et al.]. *Computational nanotechnology*, 2021, vol. 8, issue 1, pp. 59–67. DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-1-59-67.
22. Anikin S. N., Danilov M. M., Denisov D. N. Upravleniye al'ternativami vybora prinyatiya opornykh resheniy v taktike tusheniya pozharov [Management of alternatives for choosing support decisions in fire extinguishing tactics]. // *Vychislitel'naya nanotekhnologiya*, vol. 7, issue 4, pp. 39–47. DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-4-39-47.
23. Manakov A., Edigaryan A. *Mezhdunarodnyy nauchnyy Sibirskiy transportnyy forum «Transsibir' – 2021»*. *Transsib 2021. Konspekty lektsiy po setyam i sistemam* [International Scientific Siberian Transport Forum «Trans-Siberia – 2021»]. Transsib 2021. Lecture Notes on Networks and Systems]. Izdatel'stvo Springer International Publishing, vol. 2. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96380-4_176.

Мареев Михаил Александрович

Главное управление пожарной охраны МЧС России

Российская Федерация, г. Москва

старший инспектор

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Mareev Mikhail Alexandrovich

Fire Main Office EMERCOM of Russia

Russian Federation, Moscow

Chief Inspector

E-mail: mareev.mikhail@mail.ru

Денисов Алексей Николаевич

Академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры

E-mail: dan_aleks@mail.ru

Denisov Alexey Nikolaevich

Academy of the state service of EMERCOM of Russia,

Russian Federation, Moscow

doctor of Technical Sciences, Professor,

Professor of the Department

E-mail: dan_aleks@mail.ru

УДК 614.841

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ТРУДОЗАТРАТЫ ПРИ ПРОВЕРКАХ ОРГАНОВ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С. В. РЕПИН¹, Г. Н. ЛАХВИЦКИЙ², К. Г. БУРЛАЧЕНКО¹, М. Д. ПАВЛИКОВА³

¹ Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

² Главное управление МЧС России по Нижегородской области,
Российская Федерация, г. Нижний Новгород

³ ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,
Российская Федерация, г. Нижний Новгород

E-mail: repin52@yandex.ru; egor70288@mail.ru; ksenia_burlachenko@mail.ru; pavlikova9797@mail.ru

Проблема регулирования штатной численности подразделений надзорной деятельности МЧС России находится в центре внимания руководства министерства. Особую актуальность данные вопросы приобрели после вступления в силу Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации», принципиально изменившем процедуру проведения проверки. В статье описан опыт применения метода регрессионного анализа факторов, оказывающих влияние на трудозатраты сотрудников при проведении надзорных мероприятий в отношении органов местного самоуправления, на примере ГУ МЧС России по Нижегородской области. Результаты исследования свидетельствуют о том, что построенная модель регрессии применима для прогнозирования трудозатрат инспектора на проведение проверок в отношении органов местного самоуправления. Кроме того, полученные данные могут использоваться при принятии управленческих решений по приобретению (распределению) служебных транспортных средств для подразделений надзорной деятельности.

Ключевые слова: трудозатраты, регрессионный анализ, управление, надзор за ОМС, эффективность, оптимизация

REGRESSION ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING LABOR COSTS DURING INSPECTIONS OF MUNICIPAL AUTHORITIES OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

S. V. REPIN¹, G. N. LAKHVITSKY², K. G. BURLACHENKO¹, M. D. PAVLIKOVA³

¹ State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russia, Moscow,

² The Main Directorate of EMERCOM of Russia in the Nizhny Novgorod region,
Russian Federation, Nizhny Novgorod

³ Volga State University of Water Transport,
Russian Federation, Nizhny Novgorod

E-mail: repin52@yandex.ru; egor70288@mail.ru; ksenia_burlachenko@mail.ru; pavlikova9797@mail.ru

The problem of regulating the staffing of the supervisory activity units of the Ministry of Emergency Situations of Russia is in the focus of attention of the Ministry's leadership. These issues became particularly relevant after the entry into force of the Federal Law "On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation", which fundamentally changed the procedure for conducting an audit. The article describes the experience of using the method of regression analysis of factors affecting the labor costs of employees when conducting supervisory activities in relation to local governments, using the example of the EMERCOM of Russia in the Nizhny Novgorod region. The results of the study indicate that the constructed regression model is applicable for predicting the inspector's labor costs for conducting inspections in relation to local self-government bodies. In addition, the data obtained can be used in making managerial decisions on the acquisition (distribution) of official vehicles for supervisory activity units.

Key words: labor costs, regression analysis, management, supervision of local governments, efficiency, optimization

Оптимизация организационно-штатной структуры подразделений надзорной деятельности МЧС России продолжается на протяжении последнего десятилетия¹. При этом, какой-либо видимой взаимосвязи между количеством проводимых контрольных (надзорных) мероприятий (далее – КНМ, проверки), количеством объектов надзора и численностью (фактической и штатной) инспекторского состава не наблюдается. Динамика численности личного состава подразделений надзорной деятельности МЧС России², количества объектов надзора и проверок представлена³ на рис. 1.

Корреляционный анализ [1] численности инспекторского состава с основными показателями деятельности (количество КНМ и объектов надзора), представленный в табл. 1, показывает, что взаимосвязь между количеством инспекторского состава и проводимых в текущем году плановых КНМ находится на умеренном уровне (по качественной шкале Чеддока), а коэффициент детерминации составляет всего 0,13 для штатной и 0,23 факти-

ческой численности персонала. Таким образом, все переменные почти на 80 % зависят от других, не учтенных в модели факторов [2].

В свою очередь, взаимосвязь между количеством объектов надзора и количеством проводимых КНМ имеет обратную корреляционную зависимость, т.е. при увеличении числа объектов надзора, количество плановых КНМ снижается и наоборот. Следовательно, статистически значимые взаимосвязи, между ключевыми исходными данными, учитываемыми при расчете необходимого и фактического фонда рабочего времени подразделений надзорной деятельности МЧС России и регулирование организационно-штатной структуры, отсутствуют.

Таким образом, для корректировки существующих методик определения оптимальной штатной численности инспекторского состава [3], необходимо исследовать степень влияния на трудозатраты различных факторов, в том числе материально-технического характера.

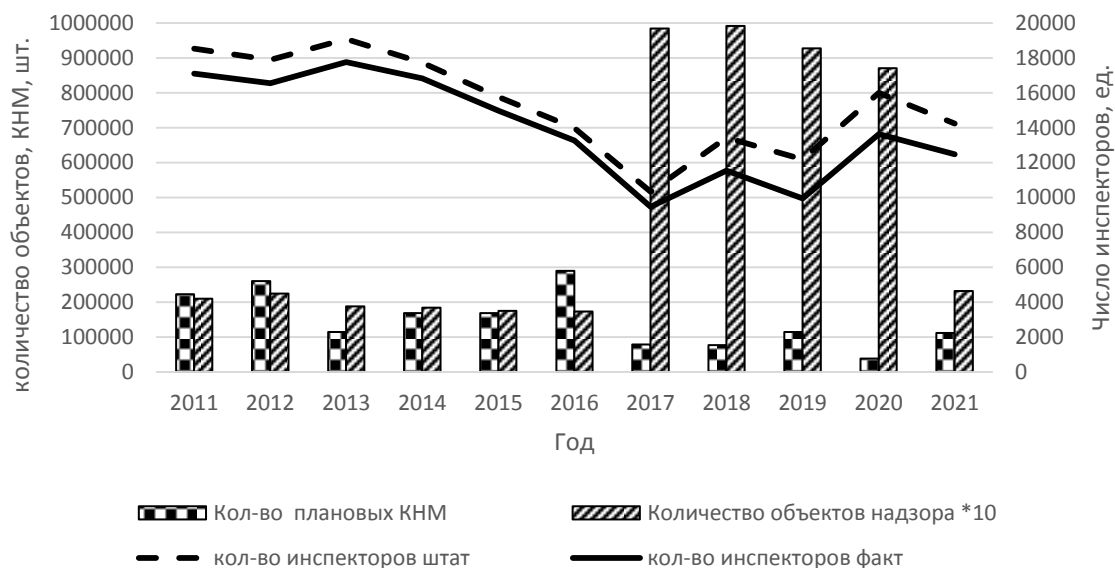


Рис. 1. Динамика численности личного состава подразделений надзорной деятельности МЧС России, количества объектов надзора и проверок

¹ Паспорт приоритетной программы «Реформа контрольной и надзорной деятельности» (приложение к протоколу президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам от 21.12.2016 № 12) [Электронный ресурс], URL: <https://base.garant.ru/71682144/> (дата обращения 11.07.2022)

² Составлено по данным ГАИС «Управление» раздел «Мониторинг контрольно-надзорной деятельности», строка 59 [Электронный ресурс], URL: <https://gasu.gov.ru/infopanel?id=11824>

³ Государственный надзор МЧС России в 2021 г.: информ. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 263 с. // [Электронный ресурс], URL: http://www.vniipo.ru/ufiles/ufiles/Reestry/Sbornik-2021_nadzor.pdf (дата обращения: 11.07.2022)

Таблица 1. Корреляционная матрица (корреляция Пирсона) взаимосвязи численности личного состава подразделений надзорной деятельности МЧС России, количества объектов надзора и проверок

	Количество КНМ	Количество объектов	Численность штат	Численность факт
Количество КНМ	1			
Количество объектов	-0,70885	1		
Численность штат	0,364877	-0,6983	1	
Численность факт	0,463886	-0,7818	0,979948	1
Коэффициент детерминации R²				
Количество КНМ	1	0	0	0
Количество объектов	0,502462	1	0	0
Численность штат	0,133135	0,487621	1	0
Численность факт	0,21519	0,611212	0,960299	1

В настоящей статье, приведены результаты исследования оценки степени влияния таких факторов, как наличие в подразделении надзорной деятельности служебного автомобиля и площади сельских населенных пунктов, находящихся на обслуживаемой территории.

Для оценки степени влияния технических факторов, проведем анализ трудозатрат на организацию КНМ в отношении органов местного самоуправления. Анализ зависимости трудозатрат (по результатам опроса подразделений надзорной деятельности ГУ МЧС России по Нижегородской области) от площади и типа населенного пункта, а также наличия транспортного средства, представленного на рис. 2, показал, что для городских поселений время обследования не имеет какой-либо устойчивой взаимосвязи с площадью и наличием транспортного средства. Возможно, из-за незначительной разницы в их площадях.

Анализ графика, представленного на рис. 3, позволяет предположить, что для сельских населенных пунктов данная зависимость прослеживается. Для проверки наличия и величины взаимосвязи воспользуемся методами дисперсионного [4], корреляционного и регрессионного анализа [5].

Статистические данные получены путем опроса сотрудников подразделений

надзорной деятельности ГУ МЧС России по Нижегородской области, осуществляющих надзор за реализацией органами местного самоуправления полномочий в области пожарной безопасности [6]. Выборка составляет 119 респондентов, при генеральной совокупности 168 сотрудников. Размер выборки обеспечивает доверительную вероятность («надежность») равную 95 %, при ошибке оценки доверительного интервала 5 %.

Проверим наличие различий между средними показателями групп по наличию служебного автомобиля. Диаграмма рассеяния, представленная на рис. 3, свидетельствует о том, что различия между средними арифметическими показателями трудозатрат составляет 335 минут, а между медианами – 415 минут.

Проверим наличие различий в средних, методом дисперсионного анализа, в качестве нулевой гипотезы принимается утверждение: «среднее время обследования сельского населенного пункта, не зависит от его площади и наличия (отсутствия) служебного автомобиля».

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа, проведенного при помощи программного обеспечения MS Excel, представлены в табл. 2

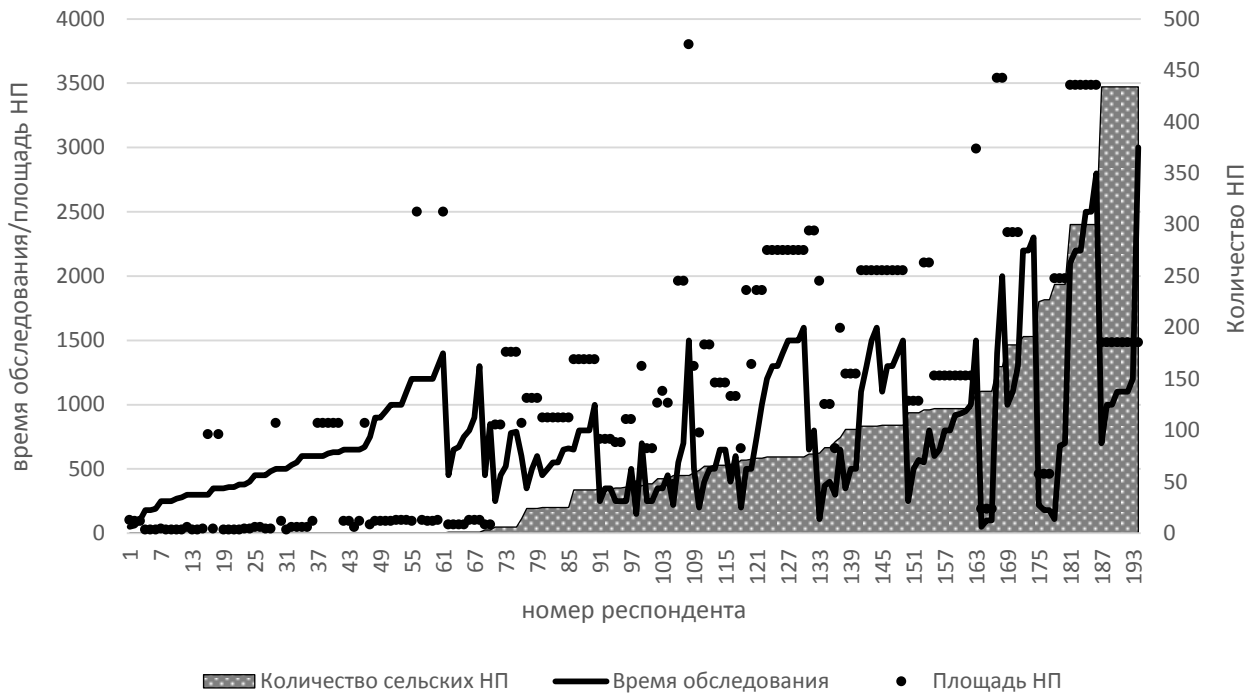


Рис. 2. Зависимость времени обследования населенного пункта от его площади и типа

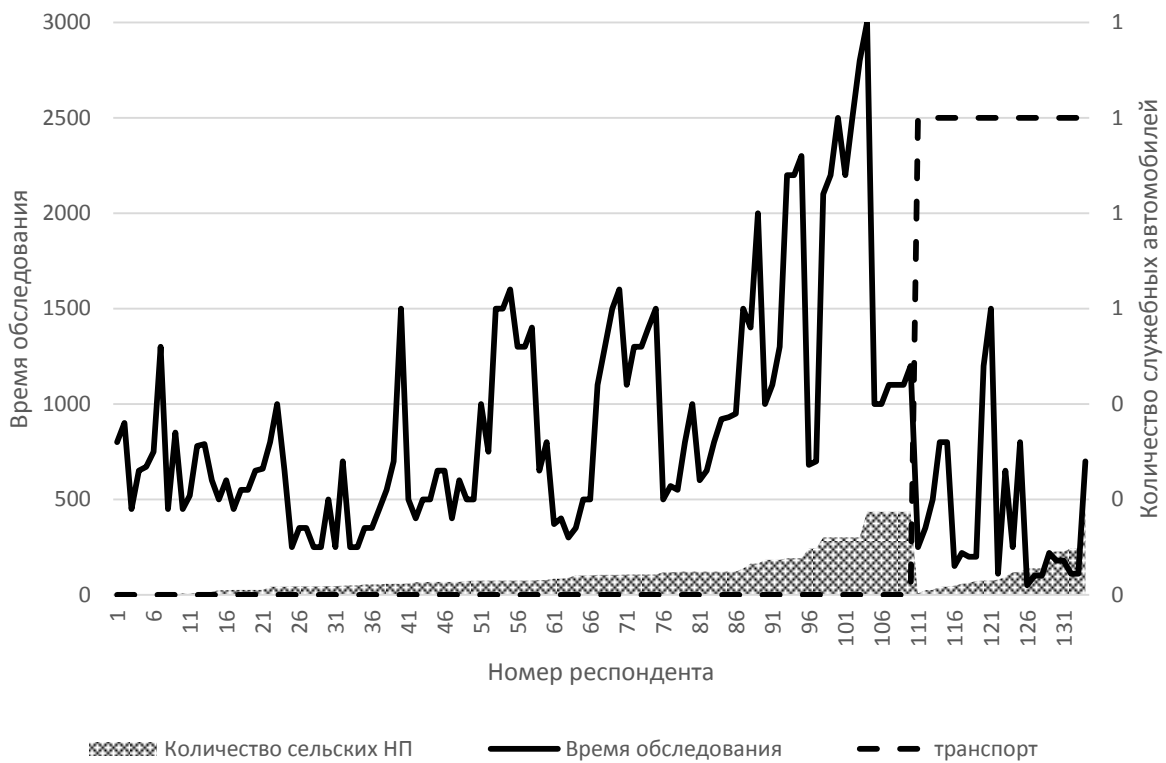


Рис. 3. Зависимость времени обследования сельского населенного пункта от его площади и наличия служебного автомобиля

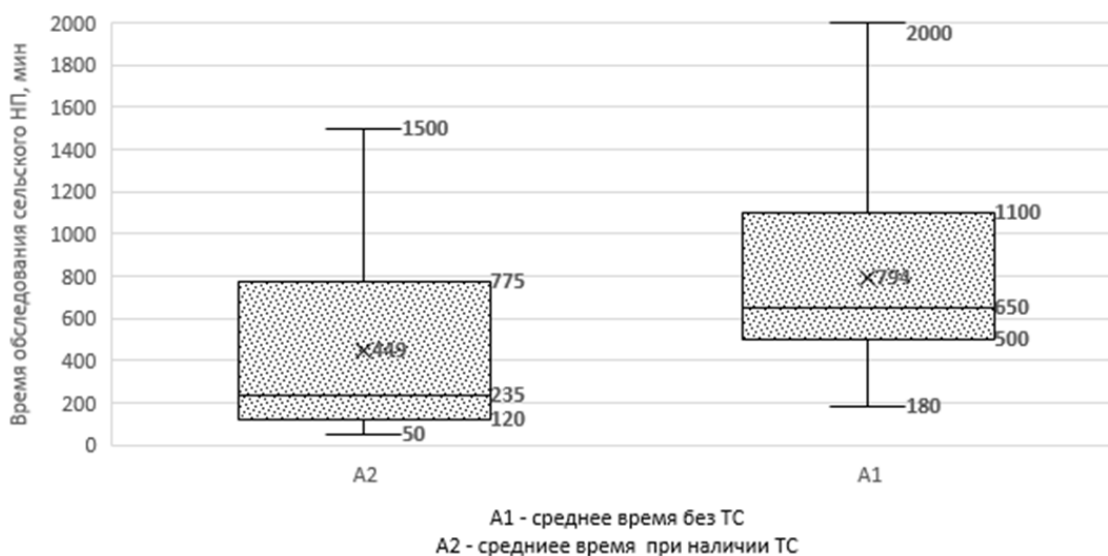


Рис. 4. Диаграмма рассеяния

Таблица 2. Дисперсионный анализ (двухфакторный)

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки (время обследования)	76470567	118	648055,6	2,616167	1,9319E-10	1,292
Столбцы (факторы: количество сельских НП, наличие ТС)	1,55E+08	2	77542916	313,0367	4,0680E-67	3,034
Погрешность	58460001	236	247711,9			
Итого	2,9E+08	356				

Поскольку вероятность достоверности (P-Значение) нулевой гипотезы значительно ниже предельного значения допустимой ошибки (0,05), нулевая гипотеза отвергается. Кроме того, поскольку F-статистика больше критического значения [7], соответствующего выбранному уровню значимости, дисперсии случайных величин признаются не одинаковыми.

Далее построим корреляционную матрицу (табл. 3) взаимной зависимости величин (Y – время обследования; X1 – наличие или отсутствие ТС; X2 – площадь населенного пункта)

Таблица 3. Корреляционная матрица (корреляция Пирсона)

	Y	X1	X2
Y	1,000		
X1	-0,454	1,000	
X2	0,771	-0,121	1,000

В результате анализа корреляционной матрицы установлено, что наибольший парный коэффициент корреляции наблюдается между переменными Y (время обследования) и X2 (площадь населенного пункта). Парный коэффициент корреляции между переменными Y (время обследования) и X1 (наличие служебного автомобиля) не только значительно ниже, но и является обратным, т.е. при увеличении переменной X1 (отсутствие ТС=1, наличие ТС=2) время обследования уменьшается. Теснота взаимосвязи переменных по шкале Чеддока — высокая и заметная, соответственно.

Далее при помощи пакета анализа данных MS Excel построим многофакторную регрессионную модель, в которой зависимая переменная – Y время обследования сельских населенных пунктов.

Определим коэффициенты уравнения регрессии.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 . \quad (1.1)$$

Результаты множественной регрессии в численном виде представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты множественной регрессии

	Y-пересечение	Переменная X 1	Переменная X 2
Коэффициенты	791,9276	-532,815	0,465992
Стандартная ошибка	107,7473	71,26712	0,031396
t-статистика	7,34986	-7,4763	14,84259
P-Значение	3,02E-11	1,58E-11	1,4E-28
Нижние 95 %	578,5205	-673,968	0,403809
Верхние 95 %	1005,335	-391,661	0,528175
Нижние 95,0 %	578,5205	-673,968	0,403809
Верхние 95,0 %	1005,335	-391,661	0,528175

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,852081
R-квадрат	0,726041
Нормированный R-квадрат	0,721318
Стандартная ошибка	304,7446
Наблюдения	119

Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	28550034	14275017	153,7109	2,43E-33
Остаток	116	10772837	92869,28		
Итого	118	39322871			

В соответствии с данными табл. 4 уравнение регрессии будет иметь следующий вид:

$$Y = 791,9276 + (-532,815) \cdot X_1 + 0,465992 \cdot X_2. \quad (1.2)$$

Уравнение (1.2) выражает зависимость времени обследования сельского населенного пункта (Y) от наличия служебного автомобиля (X1) и площади населенных пунктов (X2). Коэффициенты уравнения показывают количественное воздействие каждого фактора на результативный показатель при неизменности других. Анализ табличных данных показывает, что среднее время проведения обследования уменьшается на 532,815 минуты при наличии служебного транспорта, при неизменности показателя площади населенного; и увеличивается на 0,465992 минут при увеличении площади населенного пункта на каждый квадратный километр при неизменности показателя X1 (наличие служебного транспорта). Случайное отклонение для коэффициента при переменной X1 составляет 71,26712; при переменной X2 – 0,031396; для свободного члена – 107,7473.

Определим значимость уравнения регрессии, путем сопоставления табличного значения критерия Стьюдента и расчетной t-статистики.

Табличное значение критерия Стьюдента, соответствующее доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ и числу степеней свободы

$$v = n - m - 1 = 116; \quad (1.3)$$

составляет: $t_{кр.} = 1,980$. Таким образом, все коэффициенты уравнения регрессии являются значимыми.

Поскольку коэффициент детерминации ($R^2 = 0,726041$) и скорректированный на потерю степеней свободы коэффициент множественной детерминации ($AR^2 = 0,721318$) превышают уровень 0,7, то можно сделать вывод, что по качественной шкале Чеддока, между переменными имеется высокая сила связи. Другими словами, это означает, что на долю вариации факторных (исследуемых) признаков приходится большая часть по сравнению с остальными неучтенными в модели факторами, влияющими на изменение результативного показателя. Построенная регрессионная модель имеет высокое практическое значение.

Поскольку P-Значение многократно менее уровня допустимой ошибки (0,05), гипотеза о нулевом коэффициенте регрессии по всем переменным отвергается, а все значения переменных являются статистически значимыми. Аналогичные выводы о статистической значимости уравнения регрессии, можно сделать при анализе значения критерия Фишера ($F = 153,7109$).

Далее оценим остатки модели регрессии на наличие автокорреляции используя значение статистики Дарбина-Уотсона.

$$DW = \frac{\sum (e_i - e_{i-1})^2}{\sum e_i^2} = \frac{1744723293}{1071731543} = 1,63. \quad (1.4)$$

По таблице критических значений статистики Дарбина-Уотсона [8] определяем точки d_L и d_U для 5% уровня значимости.

Для $m = 2$ и $n = 100$: $d_L = 1,63$; $d_U = 1,72$.

Так как $DW \leq d_L$ ($1,63 \leq 1,63$), гипотеза о независимости случайных отклонений принимается (следовательно, положительная автокорреляция случайных отклонений отсутствует).

Вывод

Проведенное исследование подтверждает, что между временем проведения КНМ, количеством, площадью, находящимся на обслуживании подразделения надзорной деятельности, сельских населенных пунктов, а также наличием служебного транспорта, существует устойчивая взаимосвязь. Данный факт подтверждается коэффициентом детерминации ($R^2=0,73$).

Список литературы

1. Березин В. В. Использование корреляционно-регрессионного анализа для разработки норм труда // *HumanProgress*, 2016. С. 1–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-korrelyatsionno-regressionnogo-analiza-dlya-razrabotki-norm-truda> (дата обращения: 18.06.2022).

2. Баврина А. П., Борисов И. Б. Современные правила применения корреляционного анализа // *Медицинский альманах*, 2021. № 3 (68). С. 70–78. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-pravila-primeneniya-korrelyatsionnogo-analiza/viewer> (дата обращения: 08.07.2022).

3. О методике обоснования численности инспекторского состава органов государственного пожарного надзора / А. А. Порошин, Е. В. Козырев, О. В. Петрова // *Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал*. 2017. Вып. 2 (72). С. 209–214. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/05-02-17.ttb.pdf> (дата обращения: 25.06.2022).

4. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. М.: Наука, 1980. 512 с.

5. Прозорова Ю. Ю., Хомяченко А. А. Использование корреляционно-регрессионного анализа в процессе анализа эффективности использования трудовых ресурсов предприятия // *Таврический научный обозреватель*, № 3 (20), 2017. С. 32–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-korrelyatsionno-regressionnogo-analiza-v-protseesse-analiza-effektivnosti-ispolzovaniya-trudovyh-resursov-predpriyatiya> (дата обращения: 04.07.2022).

Наличие статистических взаимосвязей и полученное уравнение регрессии позволяет прогнозировать трудозатраты инспектора на проведение проверок в отношении органов местного самоуправления, а также принимать рациональные управленческие решения по выделению бюджетных средств на приобретение служебных автомобилей или перераспределение уже имеющихся между подразделениями надзорной деятельности.

Представленные в работе результаты показывают, что методы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа применимы для прогнозирования трудозатрат государственного инспектора по пожарному надзору и могут быть использованы для разработки методик оптимизации организационно-штатной структуры подразделений надзорной деятельности МЧС России.

6. Репин С. В., Лахвицкий Г. Н. О разработке метода определения фактических трудозатрат инспекторского состава и описание упрощенной математической модели определения штатной численности подразделений надзорной деятельности МЧС России // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*, 2021, № 39. С. 169–188, DOI: 10.15593/2224-9397/2021.3.09 (дата обращения: 25.06.2022).

7. Балдин К. В., Башлыков В. Н., Рыкуев А. В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник. М.: Дашков и К, 2014. 473 с.

8. Практикум по эконометрике. Под редакцией И. И. Елисеевой М.: Финансы и статистика, 2007. 343 с.

References

1. Berezin V. V. Ispol'zovaniye korrelyatsionno-regressionnogo analiza dlya razrabotki norm truda [Using correlation and regression analysis to develop labor standards]. *Human Progress*, 2016, pp. 1–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-korrelyatsionno-regressionnogo-analiza-dlya-razrabotki-norm-truda> (data obrashheniya: 18.06.2022).

2. Bavrina A. P., Borisov I. B. Sovremennye pravila primeneniya korrelyatsionnogo analiza [Modern rules for applying correlation analysis]. *Meditsinskij al'manax*, 2021, vol. 3 (68), pp. 70–78. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-pravila-primeneniya-korrelyatsionnogo-analiza/viewer> (data obrashheniya: 08.07.2022).

3. О методике обоснования численности инспекторского состава органов государственного пожарного надзора [On the methodology for substantiating the number of inspectors of state fire supervision bodies] / A. A. Poroshin, E. V. Kozyrev, O. V. Petrova [et al.]. *Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал*, 2017, vol. 2 (72), pp. 209–214. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/05-02-17.ttb.pdf> (data obrashheniya: 25.06.2022).

4. Sheffe G. *Dispersionny`j analiz* [Analysis of variance]. M.: Nauka, 1980. 512 p.

5. Prozorova Yu. Yu., Xomyachenko A. A. Ispol`zovanie korrelyacionno-regressionnogo analiza v processe analiza e`ffektivnosti ispol`zovaniya trudovy`x resursov predpriyatiya [The use of correlation and regression analysis in the process of analyzing the efficiency of using the labor resources of an enterprise]. *Tavrisheskij nauchny`j obozrevatel`*, 2017, vol. 3 (20), pp. 32–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-korrelyatsionno-regressionnogo-analiza-v-protseesse-analiza-effektivnosti-ispolzovaniya-trudovyh-resursov-predpriyatiya> (data obrashheniya: 04.07.2022).

6. Repin S. V., Laxviczkij G. N. O razrabotke metoda opredeleniya fakticheskix trudozatrata inspektorskogo sostava i opisaniye uproszhennoj matematicheskoj modeli opredeleniya shtatnoj chislennosti podrazdelenij nadzornoj deyatel`nosti MChS Rossii [On the development of a method for determining the actual labor costs of the inspector staff and a description of a simplified mathematical model for determining the staffing level of units of supervisory activities of the EMERCOM of Russia]. *Vestnik Permskogo nacional`nogo issledovatel`skogo politexnicheskogo universiteta. E`lektrotexnika, informacionny`etexnologii, sistemy` upravleniya*, 2021, issue 39, pp. 169–188. DOI: 10.15593/2224-9397/2021.3.09 (data obrashheniya: 25.06.2022).

7. Baldin K. V., Bashly`kov V. N., Rukosuev A. V. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnyk* [Probability Theory and Mathematical Statistics: textbook]. M.: Dashkov i K, 2014, 473 p.

8. *Praktikum po e`konometrike* [Workshop on econometrics]. Pod redakciej I. I. Elisevoj. M.: Finansy` i statistika, 2007, 343 p.

Репин Сергей Викторович (ORCID 0000-0002-6911-8053)

Академия ГПС МЧС России
Российская Федерация, Москва
адъюнкт кафедры информационных технологий
E-mail: repin52@yandex.ru

Repin Sergey Viktorovich (ORCID 0000-0002-6911-8053)

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
Adjunct of the Department of Information Technology
E-mail: repin52@yandex.ru

Лавицкий Георгий Николаевич (ORCID 0000-0001-6762-9848)

Главное управление МЧС России по Нижегородской области
Российская Федерация, Нижний Новгород
заместитель начальника отдела надзорных мероприятий в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций управления надзорной деятельности и профилактической работы
E-mail: egor70288@mail.ru

Lakhvitsky Georgy Nikolaevich (ORCID 0000-0001-6762-9848)

The Main Directorate of the Ministry of EMERCOM of Russia in the Nizhny Novgorod region Nizhny Novgorod, Russian Federation
Deputy Head of the Department of Supervision Measures in the Field of Civil Defense, Protection of the Population and Territories from Emergency Situations of the Department of Supervision and Preventive Work
E-mail: egor70288@mail.ru

Бурлаченко Ксения Григорьевна (ORCID 0000-0001-9913-8293)

Академия ГПС МЧС России
Российская Федерация, Москва
адъюнкт кафедры информационных технологий
E-mail: ksenia_burlachenko@mail.ru

Burlachenko Ksenia Grigorievna (ORCID 0000-0001-9913-8293)

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

Adjunct of the Department of Information Technology
E-mail: ksenia_burlachenko@mail.ru

Павликова Мария Дмитриевна (ORCID 0000-0002-4585-6692)
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»
Российская Федерация, Нижний Новгород
аспирант кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности
E-mail: pavlikova9797@mail.ru
Pavlikova Maria Dmitrievna (ORCID 0000-0002-4585-6692)
Volga State University of Water Transport
Russian Federation, Nizhny Novgorod
Postgraduate student of the Department of Environmental Protection and Industrial Safety
E-mail: pavlikova9797@mail.ru

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

УДК 614.841.45

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ УТРАТЫ ОГНЕСТОЙКОСТИ
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Р. А. ДАНИЛОВ

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
E-mail: ruslikdanilov@gmail.com

В данной статье проанализирован существующий в настоящее время подход к проектированию и оценке пределов огнестойкости железобетонных конструкций (ЖБК). Установлено, что он вступает в очевидное противоречие с условиями жизненного цикла строительных элементов, так как в процессе эксплуатации железобетонные конструкции (ЖБК) подвергаются воздействию коррозии, износа, биологических организмов, что становится причиной появления и накопления множества дефектов, а как следствие, постепенной утраты эксплуатационных характеристик конструкций, что, в свою очередь, неизбежно отражается на снижении ожидаемых пределов огнестойкости конструкций. Установлено, что текущая концепция, рассматривающая утрату огнестойкости ЖБК через призму категорий технического состояния конструкций, имеет недостатки, так как привязана только к несущей способности железобетонных конструкций. В то же время многочисленные результаты исследований огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций, в частности полученные за рубежом, бессистемны, носят инженерный характер и не имеют теоретического осмысления. Учитывая разнообразие воздействующих в процессе эксплуатации на ЖБК факторов, а также их комбинаций, принимая во внимание, что категория технического состояния отобразить эти вариации не в состоянии, предлагается дифференцированное изучение влияния на огнестойкость каждого из рассмотренных факторов в рамках существующей концепции коэффициента утраты огнестойкости.

Ключевые слова: огнестойкость, износ, коррозия, коэффициент утраты огнестойкости, железобетонные конструкции, условия и длительность эксплуатации

**CURRENT APPROACHES TO STUDYING THE LOSS OF FIRE RESISTANCE
OF OPERATING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

R. A. DANILOV

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
E-mail: ruslikdanilov@gmail.com

This article analyzes the current approach to the design and assessment of the fire resistance of reinforced concrete structures (RC). It has been established that it comes into obvious conflict with the conditions of the life cycle of building elements, since in the process of operation, reinforced concrete structures (RCS) are exposed to corrosion, wear, biological organisms, which causes the appearance and accumulation of many defects, and as a result, the progressive loss of operational characteristics of structures, which, in turn, inevitably affects the reduction in the expected fire resistance limits of structures. It has been established that the current concept, which considers the loss of fire resistance of reinforced concrete structures through the prism of the categories of the technical condition of structures, has drawbacks, since it is strictly tied to the load bearing capacity of reinforced concrete structures. At the same time, numerous results of studies of the fire resistance of operated reinforced concrete structures obtained abroad are unsystematic, are of an engineering nature and have no theoretical understanding. Considering the variety of factors affecting the RC during operation, as well as their combinations, considering that the category of technical condi-

tion is not able to reflect these variations, a differentiated study of the effect on fire resistance of each of the considered factors as a part of conception of coefficient of loss of fire resistance is proposed.

Key words: fire resistance, wear, corrosion, coefficient of loss of fire resistance, reinforced concrete structures, conditions and duration of operation

Введение

Выдающиеся эксплуатационные характеристики, такие как дешевизна, долговечность, способность воспринимать высокие статические и динамические нагрузки, высокая стойкость к воздействиям окружающей среды, невосприимчивость к горению позволили железобетону стать главным строительным материалом современности и прочно закрепиться в общественном сознании как «вечный» и универсальный материал, пригодный как для строительства любых объектов, так и защиты конструкций из других материалов от внешних воздействий и пожаров на длительных промежутках времени. Однако на практике дело обстоит несколько иначе.

Недостатки текущего подхода к проектированию и оценке пределов огнестойкости железобетонных конструкций

Пожары остаются одной из главных угроз для зданий даже в 21 веке. Как известно, для определения способности строительных конструкций сохранять свои несущие и ограждающие функции в условиях пожара, существует понятие «огнестойкость строительных конструкций»¹. Она характеризуется пределами огнестойкости – промежутками времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормированных для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости (п. 31 Ст. 2²). В принятой в настоящее время нормативной базе в области пожарной безопасности^{3,4} считается, что необходимые параметры

конструкций для обеспечения их требуемой огнестойкости закладываются на этапе проектирования объекта и могут быть пересмотрены при его переоснащении или реставрации. При возникновении пожара такие конструкции рассматриваются как новые, без учета появления дефектов и проявлений износа в процессе эксплуатации. Однако, как будет показано в дальнейшем, такой подход вступает в очевидное противоречие с условиями жизненного цикла строительных элементов, так как в процессе эксплуатации железобетонные конструкции (ЖБК) подвергаются воздействию множества факторов, которые приводят к постепенному снижению их эксплуатационных характеристик, что, в свою очередь, неизбежно отражается на снижении ожидаемых пределов огнестойкости конструкций.

Разрушение компонентов бетона и их химические превращения, возникновение трещин в защитном слое, появление продуктов коррозии армирования в результате взаимодействия железобетонных конструкций и агрессивной среды, приводят к появлению дополнительных напряжений в сечении конструкций. Вместе со снижением эксплуатационных характеристик, это способствует деградации возможностей конструкций сопротивляться воздействию пожара, что выражается в снижении пределов их огнестойкости. Отсюда вытекает угроза преждевременного обрушения железобетонных конструкций при пожаре, а учитывая массовость их применения, существует опасность гибели как обычных людей, так и пожарных. Резонансный пожар, произошедший 22 сентября 2016 года в Москве, в котором, в результате обрушения железобетонной крыши склада 1965 года постройки, погибло 8 пожарных, является ярчайшим примером. И как показывает практика, это далеко не единственный случай. Таким образом, возникает объективная необходимость создания способов по учету эксплуатационных воздействий на ЖБК, что необходимо не только при текущей оценке огнестойкости ЖБК, но и для прогнозирования изменений пределов огнестойкости во времени, а также создания моделей. При этом, в настоящее время существует большое количество исследований, посвященных разным аспектам этой проблемы. Исходя из этого, це-

¹ СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. Введ. 2020–03–12. М.: Стандартинформ, 2020.

² Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями от 30 апреля 2021 года, внесенных Федеральным законом № 117-ФЗ): Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123–ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 30, (28 июля). Ст. 3579.

³ СП 468.1325800.2019. Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности. Введ. 2019–12–10. М.: Стандартинформ, 2020.

⁴ СТО 36554501-006-2006 Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности желе-

зобетонных конструкций. Введ. 2006-10-20. М.: ФГУП ЦПП, 2006.

лью статьи является анализ существующих подходов к учёту времени и условий эксплуатации на пределы огнестойкости железобетонных конструкций, а также выработка на их основе единого универсального подхода.

Влияние условий эксплуатации на железобетонные конструкции

Прежде всего необходимо выделить основные процессы, с которыми сталкиваются железобетонные конструкции при эксплуатации, для лучшего понимания природы и поражающего воздействия этих факторов. Они могут иметь как естественное (климат, влажность, микроорганизмы и др.) так и искусственное происхождение (нагрузки, технологический процесс и др.). Результатом таких воздействий является появление и накопление множества дефектов и повреждений. Всего в железобетонных конструкциях их выделяют 16 видов⁵. Они сводятся к возникновению трещин, сколов бетона, повреждению, выпучиванию, разрыву армирования, отслоению защитного слоя бетона, снижению прочности бетона, недопустимым деформациям конструкций. В целом, по своей природе можно выделить три большие группы факторов, воздействующих на ЖБК в процессе эксплуатации. Это коррозия железобетона, физический износ железобетонных конструкций и воздействие биологических организмов. Все они находятся в тесной взаимосвязи и могут выступать причиной, катализатором или следствием воздействия друг друга.

Так, например, возникающие вследствие физического износа трещины становятся каналами для проникновения агрессивной среды или биологических организмов. Или коррозия способствует разрыхлению бетона и его ускоренному вымыванию осадками. С точки зрения определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций эти группы факторов различным образом воздействуют на теплофизические (табл. 1) и прочностные параметры ЖБК (табл. 2). Отметим, что повреждения бетона и армирования тесно взаимосвязаны и практически не встречаются по отдельности.

Главным образом изменение эксплуатационных параметров ЖБК сказывается на их несущей способности. Для обозначения эксплуатационной пригодности ЖБК, определяемой в зависимости от доли снижения несущей способности и характеристик конструкции, вводится понятие категорий технического состояния⁶. Подробные количественные и качественные критерии отнесения конструкций к той или иной категории, в зависимости от коррозии арматуры, снижения толщины защитного слоя, прочности бетона, образования трещин, а также их связь с уменьшением несущей способности, представлены в соответствующих методиках, пособиях и рекомендациях^{7,8,9}. Воздействие различных факторов на те или иные параметры конструкций объясняется их природой.

Таблица 1. Воздействие эксплуатационных групп факторов на теплофизические параметры железобетона

Изменение эксплуатационных параметров ЖБК \ Группа факторов	Коррозия железобетона	Износ железобетона	Воздействие биологических организмов
Изменение теплопроводности и теплоемкости бетона	+		+
Перераспределение температурных полей по сечению конструкции	+	+	+
Усиление прогрева армирования при пожаре	+	+	+

⁵ ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2014–01–01. М.: Стандартиформ, 2014.

⁶ СП 13–102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Введ. 2003–08–21. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004.

⁷ МДС 13–20.2004. Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий. Пособие по проектированию. Введ. 2004–01–01. М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», ФГУП ЦПП, 2004.

⁸ Пособие по обследованию строительных конструкций. М.: «ЦНИИПромзданий», 2004.

⁹ Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М.: ЦНИИПромзданий, 2001. 101 с.

Таблица 2. Воздействие эксплуатационных групп факторов на прочностные параметры ЖБК

Изменение эксплуатационных параметров ЖБК \ Группа факторов	Коррозия железобетона	Износ железобетона	Воздействие биологических организмов
Изменение прочности бетона	+		+
Изменение геометрических размеров сечения	+	+	+
Отслоение защитного слоя	+	+	+
Появление недопустимых деформаций конструкций		+	
Снижение несущей способности армирования из-за уменьшения толщины арматурных стержней	+		+
Возникновение разрывов армирования	+	+	+
Потеря сцепления между армированием и бетоном	+	+	+
Возникновение трещин и сколов в бетоне	+	+	+

Коррозия бетона и железобетона

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции неминуемо подвергаются воздействию среды. Главным образом, оно предполагает возникновение коррозии – самопроизвольного разрушения вследствие физико-химической реакции между веществами среды и химическими соединениями, находящимися в составе бетона и железобетона. Такое воздействие распределено во времени и может занимать десятки лет или даже столетия. Результатом коррозии железобетона является разрушение бетона и коррозия армирования. В существующем в настоящее время нормативном подходе среды, в которых эксплуатируются ЖБК, классифицируются на неагрессивные, слабоагрессивные, среднеагрессивные или сильноагрессивные¹⁰. В то же время, они могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Наиболее опасным для ЖБК является воздействие кислых сред [1]. Основную уязвимость представляет находящийся в цементном клинкере гидроксид кальция, претерпевающий в результате взаимодействия с другими веществами необратимые изменения, которые сопровождаются постепенным разрушением этого соединения. По мере снижения концентрации гидроксида кальция, происходит разрушение гидроалюминатов и гидросиликатов, также входящих в состав бетона, что приводит к потере бетоном своих физических и химических свойств [1]. Защитный слой бетона в ЖБК разрушается, а из-за капиллярно-

пористой структуры материала и существующего в нем диффузионного переноса, происходит проникновение агрессивной среды во все более глубокие слои сечения конструкции. Параллельно, из-за разрушения гидроксида кальция, бетон, обладающий изначально щелочными свойствами, теряет свою кислотность, что выражается в снижении водородного показателя – pH. В результате этого наблюдается деградация пассивирующей (защитающей) способности бетона, предохраняющей армирование от коррозии. Возникающее как следствие интенсивное электрохимическое взаимодействие металла армирования со средой, приводит к разрушению арматурных стержней, что становится причиной постепенного снижения несущей способности конструкций и создаёт угрозу их преждевременного обрушения. Наиболее распространенным коррозионным воздействием, вызывающим подобные процессы, является карбонизация бетона – химическая реакция между гидроксидом кальция цементного камня и углекислым газом воздуха или углекислотой [2]. Следует отметить, что при взаимодействии с любыми кислотами процесс разрушения материала может происходить крайне быстро, что может стать причиной обрушения зданий менее чем за пять лет после начала эксплуатации [1].

Научно-техническая революция привела к увеличению концентраций опасных веществ в атмосфере, особенно в сельскохозяйственных и производственных районах. Прогресс науки и техники способствует применению все более агрессивных по отношению к железобетону веществ. В результате автоматизации производства, санитарные нормы становятся более лояльными по предельным кон-

¹⁰ ГОСТ 31384-2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. Введ. 2017-10-05. М.: Стандартинформ, 2018.

центрациям пыли, кислот, щелочей, газов. На электрохимических производствах большую опасность представляют находящиеся там растворы электролитов, а также возникающие в конструкциях блуждающие токи. В береговых и морских сооружениях влияние на ЖБК оказывают соли, содержащиеся как в морской воде, так и в воздухе [1]. Использование углеводородов в качестве топлива повышает содержание углекислого газа в атмосфере. Таким образом, происходит неуклонное возрастание опасности раннего выхода из строя эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Учитывая широкую номенклатуру сред и воздействий, оказывающих влияние на ЖБК, можно говорить о том, что абсолютное большинство эксплуатируемых объектов строительства находится в так или иначе агрессивной среде.

Выделяются три типа коррозии бетонных и железобетонных конструкций [1]:

1) Коррозия первого вида (выщелачивание бетона – растворение и вынос соединений, определяющих прочность кристаллизационных контактов в цементном камне), представляющая наибольшую опасность для морских и тонкостенных сооружений;

2) Коррозия второго вида (химическое взаимодействие – обменные реакции цементного камня с агрессивным раствором, вызывающие разрушение материала), актуальная для всех конструкций;

3) Коррозия третьего вида (кристаллизация солей в порах, кавернах, трещинах с последующим отслоением или разрушением защитного слоя бетона).

В естественных условиях эксплуатации обычно происходит одновременное воздействие нескольких видов коррозии, с преобладанием одного из них. Для каждого вида коррозии устанавливаются свои способы борьбы с ней для обеспечения необходимой долговечности конструкций. При этом природные условия, такие как температура, влажность, циклы замораживания и оттаивания и т.д., способствуют или усилению коррозии, как например в случае ускорения разрушения морских сооружений из-за увлажнения и высушивания конструкций, или её замедлению, как например остановка карбонизации бетона при низких температурах [2].

С точки зрения утраты огнестойкости ЖБК, коррозия железобетона приводит к изменению прочности бетона, его теплопроводности и теплоемкости из-за разрушения старых и образования новых химических соединений. Постепенное разрушение бетона становится причиной появления многочисленных трещин и сколов, которые изначально способствуют перераспределению тепловых полей внутри се-

чений конструкции, что ускоряет прогрев армирования, а затем и к отслоению защитного слоя. Параллельно происходит уменьшение сечения арматурных стержней из-за коррозии металла, что может приводить к их разрыву, способствует уменьшению их несущей способности. Продукты коррозии имеют больший объем, чем изначальный металл [4], приводя к возникновению напряжений в бетоне. Конечным их итогом является утрата сцепления между армированием и бетоном, появление трещин и сколов, а также отслоение защитного слоя. Таким образом, коррозия железобетона оказывает существенное влияние на утрату огнестойкости ЖБК.

Физический износ железобетонных конструкций

Помимо непосредственно химического коррозионного взаимодействия со средой, железобетонные конструкции подвержены воздействию физических факторов. Основными видами повреждений в таком случае являются возникновение трещин, сколов бетона, выпучивание армирования, разрушение защитного слоя, появление недопустимых деформаций конструкций. Они могут образовываться вследствие воздействия кратковременной, длительной, постоянных нагрузок¹¹. Специфическими воздействиями являются взрывы, удары, землетрясения, наряду с износом в различных сочетаниях и последовательностях, предшествующих пожару [5]. Важно выделить и воздействие природно-климатических условий. Существенное влияние на состояние железобетонных конструкций оказывают циклы замораживания-оттаивания, осадки, температуры, которые приводят к повреждению внутренней структуры бетона. Сюда же можно отнести и ветровую эрозию, действие грунтовых вод. Разнообразие климатических зон на территории России способствует возникновению различных комбинаций физических факторов, которые могут приводить к быстрому разрушению железобетонных конструкций.

Отдельно можно выделить нарушение температурно-влажностного режима в помещениях, недостаточную проработку систем отвода грунтовых вод, осадков, пренебрежение ветровыми нагрузками, сезонными циклами изменения температур. Эти и многие другие факторы приводят к увеличению возникающих напряжений различного рода, вызывающих появление трещин и сколов, тем самым

¹¹ СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2, 3). Введ. 2016-12-03. М.: ФГУП ЦПП, 2016.

способствуя как снижению эксплуатационных прочностных и теплофизических характеристик ЖБК, так и повышению их уязвимости перед коррозионными воздействиями.

Воздействие биологических организмов на железобетон

Крайне специфичным воздействием, вызывающим повреждения железобетонных конструкций, является действие различных биологических организмов, таких как мхи, грибки, бактерии. Они проникают во внутреннюю структуру материала, что приводит к возникновению напряжений вследствие физико-химических реакций и физического воздействия. Следствием этого являются трещины, сколы бетона. Выделяющиеся в результате обменных процессов химические вещества также вступают в реакцию с компонентами цементного камня. В результате происходит, аналогично коррозионным процессам в железобетоне, образование новых химических соединений, разрушающих внутреннюю структуру бетона и приводящих к коррозии армирования. Наиболее частой причиной появления биологических организмов являются нарушения температурно-влажностного режима в помещениях, а также отсутствие должного обслуживания зданий.

Важно отметить, что жизнедеятельность организмов может вызывать некоторое повышение характеристик железобетонных конструкций, таких как плотность бетона, уменьшение ширины раскрытия и количества трещин из-за выделения малорастворимых продуктов химических реакций (кольматация бетона) с одновременным замедлением или полным прекращением коррозионных процессов по сечению бетона. Такое свойство может использоваться в том числе и в целях восстановления и ремонта железобетонных конструкций [6].

Существующие подходы к исследованию утраты огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций

Исследованию коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций посвящено большое количество работ, выполненных как в России, например [1, 3], так и за рубежом [4, 7]. Однако проблема объединения коррозионных процессов и огнестойкости в единую систему на данный момент не разрешена. Имеющиеся публикации по теме часто носят или бессистемный, или поверхностный, или прикладной характер. Наиболее проработанным на данный момент является направление, предложенное профессором Ройтманом В.М. Для учета обозначенных факторов, в работах [8, 9] профессор Ройтман В. М., в рамках

концепции комплексной безопасности строительства [10], под которой понимают совокупность мер, направленных на защиту зданий от комбинированных особых воздействий (СНЕ), предложил ввести понятия проектного предела огнестойкости конструкции (до начала эксплуатации), эксплуатационного предела огнестойкости (в зависимости от технического состояния в процессе эксплуатации) и коэффициента утраты огнестойкости эксплуатируемой конструкции – отношения эксплуатационного предела огнестойкости к её проектному значению.

$$C_{f,r} = \frac{\tau_{f,r}^{\text{экспл}}}{\tau_{f,r}^{\text{проект}}},$$

где $\tau_{f,r}^{\text{проект}}$ – проектный предел огнестойкости; $\tau_{f,r}^{\text{экспл}}$ – эксплуатационный предел огнестойкости конструкции.

Изменяясь в пределах от 1,0 (состояние новой конструкции) до 0 (в случае полного износа) данный коэффициент позволяет определить фактические пределы огнестойкости ЖБК на любом этапе эксплуатации.

$$\tau_{\text{эксп}} = \tau_{f,r}^{\text{проект}} \times C_{f,r}.$$

В Академии ГПС МЧС России в ходе многолетних исследований с использованием расчетных методов и компьютерного моделирования была подтверждена гипотеза о том, что значения коэффициента утраты огнестойкости железобетонных конструкций несущественно зависят от вида конструкции, характеристик бетона, их геометрических параметров, а существенно – от категории технического состояния [11, 12].

В настоящее время данный подход построен на понятии «категория технического состояния». В нем игнорируются воздействующие на ЖБК факторы, рассматриваются лишь типовые повреждения, а критерием утраты огнестойкости является снижение несущей способности конструкций. Принимая во внимание разнообразие воздействий на ЖБК в процессе эксплуатации, а также огромную вариативность их комбинаций, можно заключить, что они будут оказывать влияние как на прочностные, так и на теплофизические параметры бетона и армирования по-разному. При этом одна лишь несущая способность отобразить эти вариации не в состоянии. Поэтому в текущем виде данный подход малоприменим для прогнозирования и создания моделей утраты огнестойкости ЖБК во времени, особенно в условиях сильноагрессивных сред. Главным образом он используется при оценке пределов огне-

стойкости ЖБК после проведения технической экспертизы каких-либо объектов. Следует отметить и отсутствие полноценного экспериментального подтверждения полученных результатов, которое также ограничивает сферу их применения. Однако сама концепция такого параметра, как «коэффициент утраты огнестойкости» достаточно удобна ввиду своей системности и простоты. Отталкиваясь от категорий технического состояния, становится возможным дифференцированное изучения коэффициента утраты огнестойкости через воздействующие на ЖБК факторы.

С другой стороны, в зарубежных странах существенное развитие получил подход, в котором рассматривается влияние каких-либо отдельных факторов на пределы огнестойкости железобетонных конструкций. Главным преимуществом этих работ является богатство эмпирических данных. Разработаны методики по проведению ускоренной коррозии, симулирующих воздействие той или иной агрессивной среды, как например в работе [13]. В результате многочисленных экспериментов получены зависимости влияния определенных повреждений на огнестойкость. Они установлены, например, для трещин [14], коррозии металла армирования [15], а также для сцепления армирования с бетоном [16]. Особый интерес представляют некоторые предложения, касающиеся учета воздействия повреждений на эксплуатационные характеристики железобетона. Так, например, в работе [17] предлагается учитывать трещины в бетоне через снижение его прочности на сжатие, а в работе [18] через уменьшение сечения ЖБК. Большое количество полученных экспериментальных данных по вопросу воздействия коррозии металла армирования на утрату огнестойкости ЖБК на текущем этапе способствует пониманию природы процесса. Основным выводом является тот факт, что возникающие напряжения в бетоне, связанные с образованием продуктов коррозии армирования, занимающих больший объем, нежели некорродированный металл, приводят к возникновению трещин и сколов различной глубины. Разрушение арматурных стержней приводит также к потере сцепления армирования и бетона. Трещины способствуют перераспределению тепловых полей по сечению железобетонного элемента при пожаре, ускоряя прогрев арматуры. Наиболее сильно это заметно для растянутых конструкций. В сжатых зонах влияние трещин на скорость прогрева арматуры практически незаметно. При увеличении ширины раскрытия трещин, которая прямо зависит от уровня коррозии, прогрев арматуры ускоряется. При интенсивном температурном воздействии постепенно увеличиваются прогибы конструкций, которые, дости-

гая критических значений, приводят к обрушению. Тем самым из-за коррозии и, как следствие, более интенсивного прогрева арматуры, быстрее наступает момент достижения критического прогиба ЖБК, что приводит к их преждевременному обрушению при пожаре [19]. Также отмечается значительное снижение силы сцепления между армированием и бетоном при высоких температурах. Совместная работа этих материалов в ЖБК необходима для восприятия приложенных нагрузок. При потере сцепления происходит уменьшение значения предельных деформаций, что также способствует преждевременному обрушению железобетонных элементов при пожаре. Необходимо отметить, что при малых значениях коррозии армирования, трещины в бетоне не образуются, а сцепление между бетоном и стальными стержнями увеличивается из-за уплотнения контакта вследствие образования продуктов окисления металла. В целом, известны и отдельные зависимости. Так, например, в [19] установлено, что в железобетонных балках при повышении уровня коррозии арматурных стержней (DOC – degree of corrosion), под которым понимают отношение остаточной массы прокорродировавшей арматуры к её изначальной массе, происходит снижение огнестойкости ЖБК. Выведена зависимость вида:

$$\text{Процент снижения огнестойкости (\%)} = 100 - 2,4 \text{DOC}(\%).$$

При этом уже при $\text{DOC} = 0,05$ (5 %) происходит потеря более чем 50 % силы сцепления [19].

Анализируя многочисленные источники, можно говорить о том, что багаж полученных данных позволяет установить основные закономерности утраты огнестойкости ЖБК. Например, в работе [20] приведены результаты исследований влияния трещин бетона и коррозии армирования на огнестойкость железобетонных конструкций. Существуют также работы, в которых представлены результаты по исследованию огнестойкости железобетонных конструкций при пожаре, произошедшем после землетрясения [21], а также при одновременном воздействии на конструкции взрыва и пожара [18]. В работах [22, 23] представлены результаты исследований теплотехнических параметров определенных марок бетонов при воздействии пожара, а работа [24] посвящена влиянию на эти параметры климатических условий. Также существуют исследования, посвященные изучению прочностных свойств определенных марок бетона при коррозионных процессах [25]. Но тем не менее, научная ценность полученных результатов не может быть реализована в полной мере. При-

чиной этого является привязанность исследований к определенным факторам, часто без какого-либо теоретического осмысления. Это лишает результаты исследований гибкости и жестко привязывает их к конкретным условиям или типам повреждений, а также не позволяет объединить многочисленные данные в единую систему. Известно, например, что определенная степень коррозии металла приводит к снижению пределов огнестойкости. Или что определенная глубина трещин сокращает время сопротивления ЖБК пожару. Однако реальные условия эксплуатации вызывают целый спектр различных повреждений и носят комплексный характер. Пытаясь привязать полученные экспериментальные данные к ним, точность полученных моделей утраты огнестойкости ЖБК будет низкой.

Таким образом, в настоящее время, с одной стороны, существует системный подход, связанный с коэффициентом утраты огнестойкости, но не имеющий достаточного экспериментального подтверждения, а также не реализующий дифференцированное изучение факторов, воздействующих на жбк в процессе эксплуатации, а с другой – многочисленные эмпирические данные по воздействию определенных условий или повреждений на утрату огнестойкости ЖБК. Следовательно, напрашивается объединение этих двух течений в рамках единого подхода. При этом основой станет именно коэффициент утраты огнестойкости. Его дифференциация, в том числе и с помощью полученных экспериментальных зависимостей, в перспективе делает применимой данную концепцию для любых условий эксплуатации и возможных повреждений ЖБК.

Выводы

Таким образом, в процессе эксплуатации железобетонные конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред, приводящих к возникновению коррозии бетона и железобетона, различным физическим воздействиям,

вызывающим появление износа ЖБК, а также становятся объектом жизнедеятельности различных биологических организмов. Эти факторы способствуют появлению и накоплению множества дефектов, ухудшению эксплуатационных характеристик конструкций, а, как следствие, и снижению пределов их огнестойкости. При этом, в существующей в настоящее время нормативной базе, данный момент не имеет отражения, что делает её непригодной для определения пределов огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций. Решение данной проблемы предлагается осуществить через предложенный профессором Ройтманом В.М. коэффициент утраты огнестойкости ($C_{f,r}$). В результате проведенных исследований подтверждено, что он существенно зависит от типа ЖБК, их геометрических параметров и характеристик бетона. Основное значение приобретает техническое состояние конструкций.

Учитывая разнообразие воздействующих в процессе эксплуатации на ЖБК факторов, а также их комбинаций, принимая во внимание, что привязанная только к несущей способности категория технического состояния отобразить эти вариации не в состоянии, предлагается дифференцированное изучение влияния на огнестойкость каждого из рассмотренных факторов в рамках концепции коэффициента утраты огнестойкости железобетонных конструкций.

Это необходимо для объединения в систему многочисленных результатов исследований, посвященных огнестойкости эксплуатируемых ЖБК, их коррозии и износу. Решение этой задачи позволит использовать коэффициент утраты огнестойкости для исследования поведения железобетонных конструкций при любых комбинациях воздействующих факторов на любом этапе жизненного цикла конструкций.

Список литературы

1. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
2. Васильев А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона: монография. Гомель: БелГУТ, 2019. 215 с.
3. Алексеев С. Н., Розенталь С. К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.

4. Broomfield J. P. Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair. London: CRC Press, 2003, 296 p.
5. Ройтман В. М., Приступок Д. Н. Особенности оценки стойкости зданий и сооружений из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 7. С. 29–38.
6. Ерофеев В. Т., Аль Д. С., Смирнов В. Ф. Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 4.

7. Böhni H. (ed.). Corrosion in reinforced concrete structures. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005, 247 p.
8. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. Т. 7. 382 с.
9. Ройтман В. М., Серков Б. Б., Приступок Д. Н. Направления развития теории огнестойкости конструкций, зданий и сооружений с учетом комбинированных особых воздействий с участием пожара // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: материалы конференции. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2017. С. 42–45.
10. Теличенко В. И., Ройтман В. М. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара – базовый элемент системы комплексной безопасности // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. М.: Российская академия архитектуры и строительных наук. 2010. № 9. С. 15–29.
11. Ройтман В. М., Приступок Д. Н., Фёдоров В. Ю. Метод оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций, с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации // Ройтмановские чтения: сборник материалов VII научно-практической конференции. М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. 2019. С. 34–38.
12. Федоров В. Ю. Огнестойкость железобетонных балок в зависимости от изменения их несущей способности в условиях эксплуатации // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1 (30). С. 30–35.
13. Sobhan, K., Reddy, D.V. and Martinez, F. Fire resistance of corroded high-strength structural concrete. Journal of Structural Fire Engineering, 2021. Part. 12, vol. 1, pp. 17–34.
14. Peña D. L. et al. Influence of spalling on the biaxial bending resistance of reinforced concrete columns exposed to fire. Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020), 2020, pp. 204–212.
15. Ba G. et al. Bond strength of corroded reinforcements in concrete after high-temperature exposure. Construction and Building Materials, 2021, vol. 270, 121400.
16. Banoth I., Agarwal A. Bond behavior between reinforcing steel bars and concrete at elevated temperatures. Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020), 2020, pp. 222–230.
17. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. International Scholarly Research Notices, 2014, vol. 2014.
18. Васильченко А. В., Ковалевская Т. М., Стельмах О. А. Оценка огнестойкости железобетонной ребристой плиты при комбинированном воздействии «взрыв-пожар». // Проблемы пожарной безопасности. 2018. № 44 (23). С. 7–14.
19. Ba G. et al. Influence of reinforcement corrosion on fire performance of reinforced concrete beams. Construction and Building Materials, 2019, vol. 213, pp. 738–747.
20. Tariq F., Bhargava P. Flexural behaviour of corroded RC beams exposed to fire. Structures. Elsevier, 2021, vol. 33, pp. 1366–1375.
21. Chinthapalli H. K., Agarwal A. Post-earthquake fire assessment of reinforced concrete columns. Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020), 2020, pp. 230–242.
22. Прочностные и теплофизические свойства бетона с полипропиленовой фиброй в условиях температурного режима стандартного пожара / В. И. Голованов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 5. С. 37–44.
23. Нуязин В. М., Беликов А. С. Исследование теплофизических свойств бетонных образцов искусственно состаренных в климатических камерах // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2010. № 8 (149). С. 44–50.
24. Мануйлов В. В. Воздействие метеорологических условий на пожарную опасность железобетонных конструкций // Молодой исследователь Дона. 2018. № 5 (14). С. 83–93.
25. Оценка критической конструктивной прочности бетона, подверженного коррозии / Д. Р. Маилян [и др.]. // Новые технологии. 2012. № 4. С. 82–87.

References

1. *Korroziya betona i zhelezobetona. Metody ih zashchity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods of protection] / V. M. Moskin, F. M. Ivanov, S. N. Alekseev [et al.]. М.: Strojizdat, 1980, 536 p.
2. Vasil'ev A. A. *Ocenka i prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnnykh konstrukcij s uchetom karbonizacii betona* [Assessment and prediction of the technical condition of reinforced concrete structures, considering the carbonization of concrete]. Gomel: BelGUT, 2019, 215 p.
3. Alekseev S. N., Rozental N. K. *Korozionnaya stoikost zhelezobetonnnykh konstruktsiy v agressivnoy promyshlennoy srede* [Corrosion resistance of reinforced concrete struc-

tures in an aggressive industrial environment]. M.: Stroyizdat, 1976, 205 p.

4. Broomfield J. P. Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair. London: CRC Press, 2003, 296 p.

5. Rojtman V. M., Pristupyuk D. N. Osobennosti ocenki stoykosti zdaniy i sooruzheniy iz zhelezobetonnykh konstrukcij pri kombinirovannykh osobyykh vozdeystviyakh s uchastiem pozhara [Features of assessing the stability of buildings and structures made of reinforced concrete structures under combined hazardous effects with the participation of fire]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2010, vol. 19, issue 7, pp. 29–38.

6. Erofeev V. T., Al' D. S., Smirnov V. F. Bakterii dlya polucheniya samovosstanavlivayushchihnya betonov [Bacteria to produce self-healing concretes]. *Transportnye sooruzheniya*, 2018, vol. 5, issue 4.

7. Böhrner H. (ed.). Corrosion in reinforced concrete structures. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005, 247 p.

8. Rojtman V. M. *Inzhenernye resheniya po ocenke ognestoykosti proektiruemyykh i rekonstruiruemyykh zdaniy* [Engineering solutions for the assessment of fire resistance of designed and reconstructed buildings]. M.: Associatsiya «Pozharnaya bezopasnost' i nauka», 2001, vol. 7, 382 p.

9. Rojtman V. M., Serkov B. B., Pristupyuk D. N. Napravleniya razvitiya teorii ognestoykosti konstrukcij, zdaniy i sooruzheniy s uchastiem kombinirovannykh osobyykh vozdeystviy s uchastiem pozhara [Directions for the development of the theory of fire resistance of structures, buildings and structures, considering combined hazardous effects with the participation of a fire]. *XXIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 80-letiyu FGBU VNIPO MCHS Rossii: materialy konferentsii*. Balashikha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2017, pp. 42–45.

10. Telichenko V. I., Rojtman V. M. Obespechenie stoykosti zdaniy i sooruzheniy pri kombinirovannykh osobyykh vozdeystviyakh s uchastiem pozhara-bazovyy element sistemy kompleksnoy bezopasnosti [Ensuring the stability of buildings and structures under combined hazardous effects involving fire is the basic element of the integrated security system]. *Predotvrashchenie avariy zdaniy i sooruzheniy: sb. nauch. tr.* M.: Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitel'nykh nauk, 2010, vol. 9, pp. 15–29.

11. Rojtman V. M., Pristupyuk D. N., Fyodorov V. Yu. Metod ocenki predelov ognestoykosti zhelezobetonnykh konstrukcij, s uchastiem ih tekhnicheskogo sostoyaniya v usloviyakh ekspluatatsii [Method for evaluating the fire resistance limits of reinforced concrete structures, considering their technical condition in operating

conditions]. *Rojtmanovskie chteniya: sbornik materialov VII nauchno-prakticheskoy konferentsii*. M.: Akademiya Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii, 2019, pp. 34–38.

12. Fedorov V. Yu. Ognestoykost' zhelezobetonnykh balok v zavisimosti ot izmeneniya ih nesushchej sposobnosti v usloviyakh ekspluatatsii [Fire resistance of reinforced concrete beams depending on the change in their bearing capacity under operating conditions]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2019, vol. 1 (30), pp. 30–35.

13. Sobhan, K., Reddy, D.V. and Martinez, F. Fire resistance of corroded high-strength structural concrete. *Journal of Structural Fire Engineering*, 2021. Part. 12, vol. 1, pp. 17–34.

14. Peña D. L. et al. Influence of spalling on the biaxial bending resistance of reinforced concrete columns exposed to fire. *Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020)*, 2020, pp. 204–212.

15. Ba G. et al. Bond strength of corroded reinforcements in concrete after high-temperature exposure. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 270, 121400.

16. Banthi I., Agarwal A. Bond behavior between reinforcing steel bars and concrete at elevated temperatures. *Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020)*, 2020, pp. 222–230.

17. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. *International Scholarly Research Notices*, 2014, vol. 2014.

18. Vasilchenko A. V., Kovalevskaya T. M., Stelmah O. A. Ocenka ognestoykosti zhelezobetonnoy rebristoy plity pri kombinirovannom vozdeystvii «vzryv-pozhar» [Assessment of the fire resistance of a reinforced concrete ribbed slab under the combined impact of «explosion-fire»]. *Problemy pozharnej bezopasnosti*, 2018, vol. 44, pp. 7–14.

19. Ba G. et al. Influence of reinforcement corrosion on fire performance of reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 213, pp. 738–747.

20. Tariq F., Bhargava P. Flexural behaviour of corroded RC beams exposed to fire. *Structures*. Elsevier, 2021, vol. 33, pp. 1366–1375.

21. Chinthapalli H. K., Agarwal A. Post-earthquake fire assessment of reinforced concrete columns. *Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020)*, 2020, pp. 230–242.

22. Prochnostnye i teplofizicheskie svoystva betona s polipropilenovoy fibroy v usloviyakh temperaturnogo rezhima standartnogo pozhara [Strength and thermophysical properties of concrete with polypropylene fiber under the conditions of a standard fire temperature regime] /

V. I. Golovanov [et al.]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2017, vol. 26, issue 5, pp. 37–44.

23. Nuyanzin V. M., Belikov A. S. Issledovanie teplofizicheskikh svoystv betonnykh obrazcov iskustvenno sostarenykh v klimaticheskikh kamerah [Study of the thermophysical properties of concrete samples artificially aged in climatic chambers]. *Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoï akademii budivnictva ta arhitekturi*, 2010, vol. 8 (149), pp. 44–50.

24. Manujlov V. V. Vozdejstvie meteorologicheskikh uslovij na pozharnuyu bezopasnost' zhelezobetonykh konstrukcij [The impact of meteorological conditions on the fire safety of reinforced concrete structures]. *Molodaj issledovatel' Dona*, 2018, vol. 5 (14), pp. 83–93.

25. Ocenka kriticheskoj konstruktivnoj prochnosti betona, podverzhennogo korrozii [Evaluation of the critical structural strength of concrete exposed to corrosion] / D. R. Mailyan [et al.]. *Novye tekhnologii*, 2012, vol. 4, pp. 82–87.

Данилов Руслан Александрович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

Адъюнкт Факультета научно-педагогических кадров

E-mail: ruslikdanilov@gmail.com

Danilov Ruslan Aleksandrovich

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,

Russian Federation, Moscow

Post graduate student of Post graduate faculty

E-mail: ruslikdanilov@gmail.com

УДК [614.844.2:62-181.4]:[522.525.2:001.891.572]

ПРОГНОЗ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В СОПЛЕ УСТРОЙСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПРИНЦИПОМ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

В. Л. ЕФИМЕНКО

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Академия гражданской защиты МЧС ДНР»,
Донецкая Народная Республика, г. Донецк
E-mail: vitale.2020@mail.ru

Для подавления пожаров в начальной стадии развития применяют установки импульсного пожаротушения, в конструкцию которых входят устройства с газодинамическим принципом распыления жидкости. Для повышения эффективности при тушении пожаров необходимо провести аналитические исследования и разработать конструкцию устройства с оптимальным геометрическим профилем сопла, учитывая предъявляемые требования к устройствам, формирующие тонкораспыленный огнетушащий состав.

С помощью численных решений уравнений, определены численные значения газодинамических параметров, происходящих в сопле устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости. Представлены уравнения, характеризующие кинетику газовых и капельных потоков, протекающих в сопле, их температурные и энергетические показатели в зависимости от его геометрии. Уравнения позволяют определить соотношение диаметра и длины сопла устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости.

Ключевые слова: газодинамический принцип распыления жидкости, газодинамический профиль сопла, скорость двухфазного газокapельного потока, энергии газокapельного потока, массовый расход газовой и капельной фазы.

FORECAST OF PROCESSES OCCURRING IN THE NOZZLE OF FIRE EXTINGUISHING DEVICES WITH THE GAS-DYNAMIC PRINCIPLE OF LIQUID SPRAYING

V. L. EFIMENKO

State budgetary educational institution of higher education
«Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the DPR»,
Donetsk People's Republic, Donetsk
E-mail: vitale.2020@mail.ru

To suppress fires in the initial stage of development, pulsed fire extinguishing installations are used, the design of which includes devices with the gas-dynamic principle of liquid spraying. To increase the efficiency in extinguishing fires, it is necessary to conduct analytical studies and develop a device design with an optimal geometric nozzle profile, taking into account the requirements for devices forming a finely dispersed extinguishing agent.

Numerical solutions of the equations are used to determine the numerical values of the gas-dynamic parameters occurring in the nozzle of the fire extinguishing device with the gas-dynamic principle of liquid spraying. The equations characterizing the kinetics of gas and droplet flows flowing in the nozzle, their temperature and energy parameters depending on its geometry are presented. The equations allow us to determine the ratio of the diameter and length of the nozzle of the fire extinguishing device with the gas-dynamic principle of liquid spraying.

Key words: the gas-dynamic principle of liquid atomization, the gas-dynamic profile of the nozzle, the velocity of the two-phase gas-droplet flow, the energy of the gas-droplet flow, the mass flow rate of the gas and droplet phase.

В научных работах по разработкам установок пожаротушения с газодинамическим принципом подачи огнетушащих веществ недостаточно полно описаны физические внутрикамерные процессы, происходящие в устройствах, входящих в конструкцию самой установки [5, 6, 7, 8]. К таким устройствам относится пожарный ствол с соплом и с другими конструктивными его элементами.

Обоснование параметров устройств пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости позволит расширить тактические возможности подразделений пожарно-спасательных служб при тушении пожаров, и реализовать условия эффективной подачи огнетушащего вещества для ликвидации горения, что является актуальной научно-технической задачей.

Разработанная математическая модель [1], позволила выполнить численные исследования и получить рациональный профиль газодинамического сопла устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости, в результате чего повысится эффективность тушения пожара. Для более четкого понимания связи длины третьего участка параболоида вращения с диаметром сопла устройства пожаротушения необходимо разработать выражение, позволяющее определить численные значения газодинамических параметров сопла и соответствующие этим параметрам – длины и диаметра каждого из трех участков.

Целью работы является установление закономерностей внутрикамерных газодинамических процессов для обоснования параметров устройств распыления жидкости.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- разработать уравнения, которые определяют значения газодинамических параметров, характеризующие кинетику газовых и капельных потоков, протекающих в сопле, их температурные и энергетические показатели в зависимости от его геометрии.

- определить соотношение диаметра и длины сопла устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости.

Скоростные потоки, проходящие в стволе через динамические составляющие их частей в виде дифференциальных уравнений, начальные условия дифференциальных уравнений задаются в начале каждого участка сопла устройств пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости (далее – устройство пожаротушения), после чего осуществляется итеративная процедура прогнозирования значений показателей на этом участке.

Геометрия сопла устройства пожаротушения состоит из участков 3 тел вращения (рис. 1):

1 участок – конус, длиной $L_1 - L_2$, мм; 2 участок – цилиндр, длиной $L_2 - L_3$, мм; 3 участок – конус, длиной $L_3 - L_4$, мм.

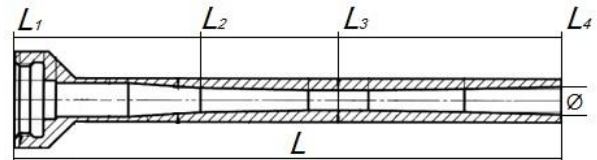


Рис. 1. Схема участков сопла устройства

Решением дифференциальных уравнений сопровождается заданием начальных условий.

Зависимость динамики скоростной характеристики газового потока в сопле:

$$\frac{du_g}{dx} = -\frac{1}{u_g \cdot \rho_g} \cdot \frac{dP}{dx} - \frac{6 \cdot D_{\text{СК}} \cdot g}{\pi \cdot d_k^3 \cdot u_g \cdot \rho_g} - \frac{\tau \cdot \pi \cdot D}{G_g}, \quad (1)$$

где u_g – скорость газа, м/с; ρ_g – плотность газа, кг/м³; P – давление, зависящее от длины участка сопла, Па; $D_{\text{СК}}$ – сопротивление одной капли, Н; d_k – диаметр капли, м; g – коэффициент загрузки двухфазного потока каплями; τ – коэффициент сопротивления газа; D – диаметр сопла, м; G_g – массовый расход газовой фазы, кг/с.

При решении дифференциального уравнения динамики скоростной характеристики газового потока методом Рунге-Кутты получены показатели скорости и давления газа.

Уравнение прогноза капельного потока:

$$\frac{du_k}{dx} = -\frac{1}{u_k \cdot \rho_k} \cdot \frac{dP}{dx} + \frac{6 \cdot D_{\text{СК}} \cdot g}{\pi \cdot d_k^3 \cdot u_k \cdot \rho_k}, \quad (2)$$

где: u_k – скорость капли, м/с; ρ_k – плотность капли, кг/м³.

При решении дифференциального уравнения прогноза капельного потока методом Рунге-Кутты получены показатели скорости и давления капельного потока.

Результаты расчетов показателей влияния давления на изменение скорости газа и капель на участках составных частей сопла представлены на рис. 2 и 3.

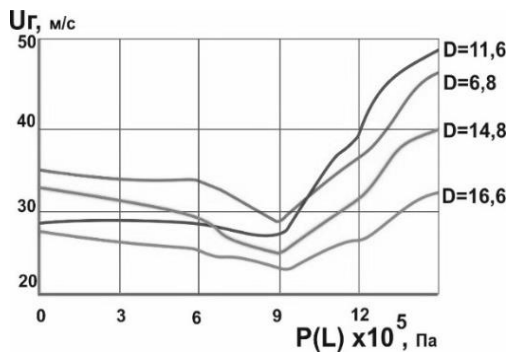


Рис. 2. Влияния давления на изменение скорости газа на участках составных частей сопла

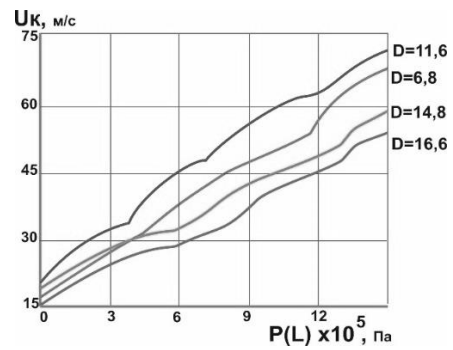


Рис. 3. Влияние давления на изменение скорости капельного потока на участках составных частей сопла

Характер тепловой нагрузки определяется зависимостями (3) и (4):

$$c_p \cdot T_g + 0,5 \cdot u_g^2 + g \cdot (c T_k + 0,5 \cdot u_k^2) = c_p \cdot T_g(0) + 0,5 \cdot [u_g(0)]^2 + g \{c \cdot T_k(0) + 0,5 \cdot [u_k(0)]^2\} \dots \dots (3)$$

где: c_p – теплоемкость газа при постоянном давлении, Дж/кг·К; T_g – температура газа, К, T_k – температура капли, К, c – теплоемкость вещества капли (воды), Дж/кг·К.

$$\frac{dT_g}{dx} = -6 \frac{\alpha g (T_g - T_k)}{d \rho u c_p} - \frac{u_g}{c_p} \frac{du_g}{dx}, \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи между воздухом и каплями, Вт/(м²·К); ρ – плотность воды, кг/м³.

Величина давления в сопле ствола рассчитывается согласно (5):

$$P(L) = P_0 \cdot \left\{ \left(1 - \frac{P(L)}{P_0} \right) \cdot \left[\left(\frac{x}{L} \right)^4 - 2 \cdot \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right] + 1 \right\}, \quad (5)$$

где P_0 – начальное давление газокapельного потока, Па; x – координата точки по длине сопла, м.

Параметры газового потока определяются согласно закона Бойля-Мариотта

$$P(x) \cdot V = \frac{M}{\mu_{cm}} \cdot R \cdot T = M \cdot B_{cm} \cdot T = (G_k + G_g) \cdot B_{cm} \cdot T, \quad (6)$$

где V – объем газокapельного потока, м³; M – общая масса газокapельного потока, кг; μ_{cm} – коэффициент динамической вязкости газокapельного потока; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кг·К); B_{cm} – переменная зависимости от доли потока; T – температура газокapельного потока, К; G_g – массовый рас-

ход газовой фазы, кг/с; G_k – массовый расход капельной фазы, кг/с.

$$B_{cm} = \frac{R}{\mu_{cm}} = R \cdot (\alpha_g + \alpha_k), \quad (7)$$

где α_g – весовая доля газа; α_k – весовая доля капель воды.

Параметры газокapельных потоков:

весовая доля газа:

$$\alpha_g = \frac{G_g}{G_k + G_g}, \quad (8)$$

весовая доля капель воды:

$$\alpha_k = \frac{G_k}{G_k + G_g}. \quad (9)$$

Энергия капельного потока:

$$E_k = G_k \cdot \left(\int_1^L \frac{du_k}{dx} \right)^2 = G_k \cdot \frac{1}{2 \cdot \alpha_k} \cdot \left(\int_1^L \frac{du_k}{dx} \right)^2. \quad (10)$$

При решении дифференциального уравнения определения энергии капельного потока методом Рунге-Кутты получены показатели изменения энергии капельного потока от длины, на участках составных частей сопла. На рис. 4 изображено изменение энергии капельного потока на третьем участке составных частей сопла.

Энергия газового потока:

$$E_g = G_g \cdot \left(\int_1^L \frac{du_g}{dx} \right)^2 = G_g \cdot \frac{1}{2 \cdot \alpha_g} \cdot \left(\int_1^L \frac{du_g}{dx} \right)^2. \quad (11)$$

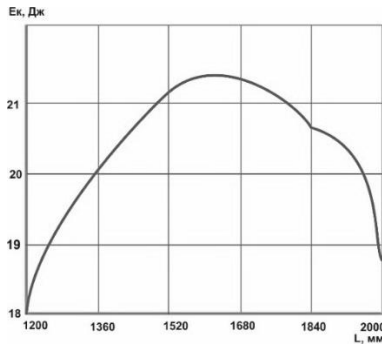


Рис. 4. Изменение энергии капельного потока на третьем участке составных частей сопла

При решении дифференциального уравнения определения энергии газового потока методом Рунге-Кутты получены показатели изменения энергии газового потока от длины, на участках составных частей сопла. На рис. 5 изображено изменение энергии газового потока на третьем участке составных частей сопла.

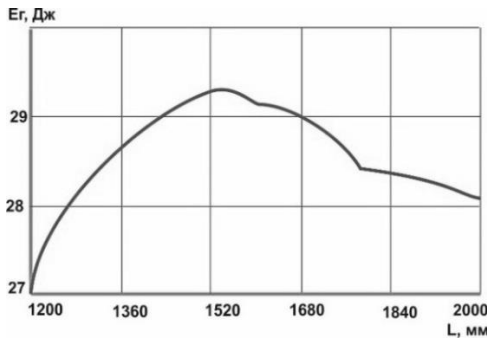


Рис. 5. Изменение энергии газа на третьем участке составных частей сопла

Энергия газокapельной смеси:

$$E_{\text{см}} = \frac{1}{2} \cdot [G_{\text{см}} \cdot \alpha_{\text{к}} \left(\int_1^L \frac{du_{\text{к}}}{dx} \right)^2 + G_{\text{см}} \cdot \alpha_{\text{г}} \left(\int_1^L \frac{du_{\text{г}}}{dx} \right)^2]. \quad (12)$$

$$G_{\text{см}} = G_{\text{г}} + G_{\text{к}}. \quad (13)$$

Работа газокapельного потока при переходе из одного участка ствола в другой:

$$A = \left(\frac{G_{\text{г}} + G_{\text{к}}}{\alpha_{\text{г}} + \alpha_{\text{к}}} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_i}{p_g} \right), \quad (14)$$

где p_i – давление в предыдущем отделе сопла, p_g – давление в последующем отделе сопла.

Решающим в выбросе газокapельного потока является третий участок сопла, выполненный в виде параболоида вращения [2,3] (рис. 6).

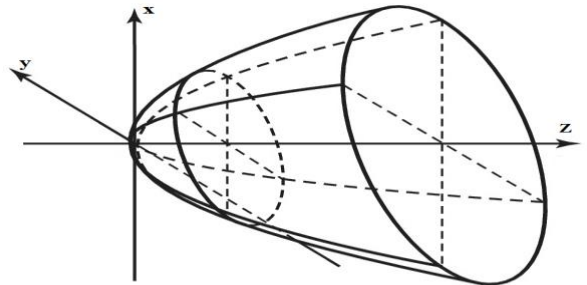


Рис. 6. Параболоид вращения

Который описывается уравнением

$$\frac{x^2}{p} + \frac{y^2}{g} = 2 \cdot L. \quad (15)$$

При этом:

$$x = y = \frac{D}{2} \quad p = g > 0,$$

$$p = \frac{1}{\lambda_{\text{г}}} \cdot \sqrt{-\frac{A}{J}}, \quad (16)$$

где p – параметр процедуры параметрической идентификации, $\lambda_{\text{г}}$, J – инварианты нормирующие плоскости в пространстве геометрических размеров параболоида [4]

Исходя из этого получаем зависимость:

$$D(L) = \frac{L^2}{2 \cdot p}. \quad (17)$$

На основании представленных материалов возможно сделать следующие выводы: расчеты по приведенной системе уравнений позволяют определить конструктивные особенности сопла, физические и энергетические характеристики процессов, протекающих в частях сопла. Кроме того, по расчетным зависимостям осуществляется определение геометрических параметров длины и диаметра третьей составляющей части сопла, реализованной в виде короткофокусного параболоида вращения. Приведенное выражение, позволяет связать длину третьего участка параболоида вращения с диаметром сопла устройства пожаротушения с газодинамическим принципом распыления жидкости.

Список литературы

1. Ефименко В. Л. Обоснование геометрических параметров сопла пожаротушающей установки // Вестник Академии гражданской защиты. 2022. № 2 (30). С. 12–17.
2. Александров П. С. Лекции по аналитической геометрии, дополненные необходимыми сведениями из алгебры. М.: Наука, 1968. 905 с.
3. Ильин В. А., Позняк Э. Г. Аналитическая геометрия. М.: Наука, 1971. 232 с.
4. Корн Г. Н., Корн Т. Н. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения. Термины. Формулы. М.: Наука, 1974. 831 с.
5. Патент 24639 Российская Федерация, МПК А62С13/00, В05В7/04. Устройство для пожаротушения / А. В. Карпышев; опубл. 20.08.2002, Бюл. № 23.
6. Патент 2297864 Российская Федерация, МПК А62С 13/00. Устройство пожаротушения / А. Л. Душкин, А. В. Карпышев; А. Л. Душкин [и др.]; опубл. 27.04.2007. Бюл. № 12.
7. Патент 2121390 Российская Федерация, МПК А62С 31/02. Установка для пожаротушения / Ю. В. Зувев, А. В. Карпышев., И. А. Лепшинский; опубл. 10.11.1998.
8. Патент 2316369 Российская Федерация, МПК А62С 31/02. Устройство пожаротушения / А. Л. Душкин, А. В. Карпышев; А. Л. Душкин, А. В. Карпышев; опубл. 10.02.2008. Бюл. № 4.

References

1. Efimenko V. L. Obosnovaniye geometricheskikh parametrov sopla pozharotushashchey ustanovki [Justification of geometric parameters fire extinguishing nozzles]. *Vestnik Akademii grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2 (30), pp. 12–17.
2. Aleksandrov P. S. *Lektsii po analiticheskoy geometrii, dopolnennyye neobkhdimymi svedeniyami iz algebry* [Lecture on analytic geometry, supplemented with the necessary information from algebra]. M.: Nauka, 1968, 905 p.
3. Ilyin V. A., Poznyak E. G. *Analiticheskaya geometriya* [Analytic geometry]. M.: Nauka, 1971, 232 p.
4. Korn G. N., Korn T. N. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Opredeleniya. Terminy. Formuly* [Handbook of mathematics for scientists and engineers. Definitions. Terms. Formulas]. M.: Nauka, 1974, 831 p.
5. Karpyshev A. V. *Ustroystvo dlya pozharotusheniya* [Fire extinguishing device], Patent 24639 Rossiyskaya Federatsiya IPC A62 C 13/00, B 05B7/04, opubl. 20.08.2002, Byul. № 23.
6. Dushkin A. L., Karpyshev A. V.; Dushkin A. L. [et al.]. *Ustroystvo pozharotusheniya* [Fire extinguishing device], Patent 2297864 Rossiyskaya Federatsiya IPC A62S 13/00, opubl. 27.04.2007, Byul. № 12.
7. Zuev Yu. V., Karpyshev A. V., Lepshinsky I. A. *Ustanovka dlya pozharotusheniya* [Fire extinguishing installation], Patent 2121390 Rossiyskaya Federatsiya IPC A62S 31/02, opubl. 10.11.1998.
8. Dushkin A. L., Karpyshev A. V.; Dushkin A. L. [et al.]. *Ustroystvo pozharotusheniya* [Fire extinguishing device], Patent 2316369 Rossiyskaya Federatsiya IPC A62S 31/02, 2006122074/12, opubl. 10.02.2008, Byul. № 4.

Ефименко Виталий Леонидович

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия гражданской защиты МЧС ДНР»,
Донецкая Народная Республика, г. Донецк
старший преподаватель кафедры организации службы, пожарной
и аварийно-спасательной подготовки факультета «Пожарной безопасности»
E-mail: vitale.2020@mail.ru

Efimenko Vitaly Leonidovich

State budgetary educational institution of higher education «Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the DPR»,
Donetsk People's Republic, Donetsk,
Senior Lecturer
E-mail: vitale.2020@mail.ru

УДК 614.841.411

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛОЩАДЕЙ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ

В. И. ПРИСАДКОВ¹, С. В. МУСЛАКОВА¹, А. А. АБАШКИН¹, К. В. ПРИСАДКОВ²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России),
Российская Федерация, г. Балашиха
² ООО «ЦентрПСР»,
Российская Федерация, г. Владимир
E-mail: k708@yandex.ru

В рамках гибкого нормирования предложено устанавливать расчетом площади пожарных отсеков в здании с использованием критерия приведенных затрат. Критерий приведенных затрат включает прогнозные оценки материальных потерь в пожарном отсеке и приведенные капитальные затраты на устройство автоматической установки пожаротушения. Рациональный вариант противопожарной защиты пожарного отсека установлен с учетом использования автоматических установок пожаротушения для пожарного отсека общественного здания. В работе определены условия, определяющие экономическую целесообразность использования автоматической установки пожаротушения в пожарном отсеке. Установлены условия, при которых за счет применения установки автоматического пожаротушения допускается увеличение нормативной площади пожарного отсека до двух раз относительно нормативного значения. Разработаны методические основы выбора площадей этажей пожарных отсеков с учетом величины материальных потерь от пожаров, затрат на защиту пожарного отсека автоматической установкой пожаротушения. В статье получены оценки уменьшения потенциальных материальных потерь в пожарном отсеке при использовании автоматического пожаротушения. Получены инженерные оценки для выбора оптимальных экономически обоснованных вариантов решений по разделению зданий на пожарные отсеки. Приведенные в статье аналитические оценки являются основой инженерного подхода в рамках гибкого нормирования к выбору оптимальных решений по защите объектов от пожаров с использованием систем автоматического пожаротушения.

Ключевые слова: гибкое нормирование, пожарный отсек, экономическая оценка решений, критерий приведенных затрат, риск ущерба при пожаре.

ON THE ISSUE OF OPTIMIZING THE AREAS OF FIRE COMPARTMENTS

V. I. PRISADKOV¹, S. V. MUSLAKOVA¹, A. A. ABASHKIN¹, K. V. PRISADKOV²

¹ The 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
² OOO CentrPSR,
Russian Federation, Vladimir
E-mail: k708@yandex.ru

Within the framework of flexible rationing, it is proposed to establish the calculation of the area of fire compartments in the building using the criterion of reduced costs. The criterion of the reduced costs includes forecast estimates of material losses in the fire compartment and the reduced capital costs for the device of automatic fire extinguishing installation. The optimal variant of fire protection of the fire compartment is determined taking into account the use of automatic fire extinguishing systems for one floor of a specific area. The paper defines the conditions determining the economic feasibility of using an automatic fire extinguishing system in the fire compartment. The conditions have been established under which, due to the use of an automatic fire extinguishing installation, it is allowed to increase the standard area of the fire compartment up to two times relative to the standard value. Methodological bases for the selection of floor areas of fire compartments have been developed, taking into account the amount of material losses from fires, the costs of protecting the fire compartment with an automatic fire extinguishing system. The article provides estimates of the reduction of potential material losses in the fire compartment when using automatic fire extinguishing.

Engineering estimates have been obtained to select optimal economically sound solutions for dividing buildings into fire compartments. The analytical estimates given in the article are the basis of an engineering approach within the framework of flexible rationing to the selection of optimal solutions for the protection of objects from fires using automatic fire extinguishing systems.

Key words: flexible rationing, fire compartment, economic evaluation of solutions, criterion of reduced costs, risk of damage in case of fire.

Введение

В России, как и во всем мире медленно, но неуклонно развиваются вероятностные подходы к установлению размеров пожарных отсеков в рамках гибкого нормирования. Современные подходы к определению площадей пожарных отсеков изложены в работах [1, 2, 3], в которых предложено определять их параметры с учетом этажности и степени огнестойкости зданий, функционального назначения объектов, эффективности элементов их противопожарной защиты. Но без учета экономической целесообразности принимаемых решений. Экономическое обоснование выбранных площадей пожарных отсеков становится особенно актуальным в настоящее время.

Обоснование площадей пожарных отсеков на основе экономических оценок затрат на противопожарные мероприятия и ущерба от пожаров в здании начали проводиться в конце XX века [4, 5, 6, 7].

В статье приведены аналитические результаты, полученные с использованием критерия приведенных затрат, в рамках анализа связи «площадь этажа пожарного отсека – автоматическая установка пожаротушения (АУП)», позволяющие специалистам в рамках гибкого нормирования выбрать и обосновать экономически целесообразную (оптимальную) площадь пожарного отсека с учетом АУП.

В настоящее время при устройстве пожарных отсеков в здании и выборе системы автоматического пожаротушения в них проектировщики руководствуются положением, что площадь этажа в пожарном отсеке допускается увеличивать на 100 % в промышленных и складских зданиях I, II и III степеней огнестойкости, а в общественных зданиях – I и II степеней огнестойкости относительно нормативных значений¹. В ряде действующих нормативных документов на здания (специальные технические условия (далее - СТУ) можно встретить увеличение площадей этажей пожарных отсеков в три и более раз.

В тоже время необходимо отметить, что при решении вопросов по обеспечению

безопасности материальных ценностей принимаемые решения по площадям пожарных отсеков не учитывают материальный ущерб.

Поэтому вопрос «площадь этажа пожарных отсеков – АУП» должен быть рассмотрен отдельно на основе критерия приведенных затрат [4]. Критерий приведенных затрат позволяет учесть, как минимум, капитальные затраты на устройство АУП и прогнозные оценки ущерба от пожаров.

Цель исследования

Целью настоящей работы является в рамках гибкого нормирования разработка инженерного метода выбора площадей этажей пожарных отсеков с учетом величины материальных потерь от пожаров, затрат на защиту пожарного отсека автоматической установкой пожаротушения.

В рамках достижения поставленной цели рассматриваются следующие вопросы:

- условия, при которых экономически целесообразно использовать АУП в пожарном отсеке;
- условия, при которых в пожарном отсеке за счет использования АУП допустимо увеличить площадь этажа пожарного отсека в два раза относительно нормативного значения;
- возможность уменьшения рисков материальных потерь от пожаров при использовании АУП для защиты пожарных отсеков.

Решение указанных вопросов позволит оптимизировать площади пожарных отсеков, обеспечивая минимальные значения критерия приведенных затрат.

Методы исследования

Метод исследования основан на минимизации критерия приведенных затрат, включающий прогнозные материальные потери при пожаре и капитальные затраты на устройство автоматической установки пожаротушения в пожарном отсеке.

1. Ниже рассматривается пожарный отсек в общественном здании (далее – здание, отсек) в части риска материального ущерба при пожаре. Считается, что для такого здания требования по безопасности людей при пожаре выполняются согласно Федеральному закону от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический ре-

¹ СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»

гламент о требованиях пожарной безопасности»² (далее – ФЗ-123).

Критерий приведенных затрат для рассматриваемого здания равен [4]

$$K_1 = \lambda S \cdot yS \cdot R, \quad (1)$$

Критерий приведенных затрат для здания, защищенного АУП

$$K_2 = \lambda \cdot S \cdot y \cdot S \cdot R \cdot (1 - P_a) + y \cdot S_a \cdot \lambda \cdot S \cdot R \cdot P_a + E \cdot C_a \cdot y \cdot S, \quad (2)$$

где: P_a - надежность тушения пожара АУП; S_a - площадь для расчета ущерба при успешном тушении пожара АУП, м²; C_a – безразмерные капитальные затраты на устройство АУП, записываемые в долях стоимости здания с оборудованием; $E = 0,12$ руб×год⁻¹ – коэффициент эффективности капиталовложений.

Пожарный отсек экономически целесообразно защищать АУП, если $\frac{K_2}{K_1} < 1$ [4].

Из формул (2) и (1) находим

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\lambda \cdot y \cdot S^2 (1 - P_a) \cdot R + \lambda \cdot y \cdot S_a \cdot S \cdot P_a \cdot R + E \cdot C_a \cdot y \cdot S}{\lambda \cdot y \cdot S^2 \cdot R} < 1, \quad (3)$$

Так как, $\frac{R \cdot y \cdot \lambda \cdot S \cdot S_a}{R \cdot y \cdot S^2 \cdot \lambda \cdot (1 - P_a)} = \frac{S_a}{S \cdot (1 - P_a)} \ll 1$, то членом $(R \cdot y \cdot \lambda \cdot S \cdot S_a)$ ниже везде можно пренебречь и из формулы (3) получим

$$P_a > \frac{E \cdot C_a}{R \cdot \lambda \cdot S}, \quad (4)$$

Пример № 1: $C_a=0,02$; $\lambda \cdot S=0,02$ год⁻¹; $R=0,5$; $P_a > \frac{0,02 \cdot 0,12}{0,5 \cdot 0,02} = 0,24$

Результаты примера показывают, что АУП с капитальными затратами $C_a=0,02$ при частоте пожара в здании $\lambda \cdot S=0,02$ год⁻¹ и коэффициенте материального ущерба в здании $R=0,5$ экономически целесообразно применять в здании, если надежность тушения пожара АУП превышает 0,24. Для наглядности в примере № 1 не учтены текущие затраты на эксплуатацию автоматической спринклерной системы пожаротушения. В общем случае это легко может быть учтено.

2. Определим параметры пожарного отсека, при выполнении которых нормативные документы (СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойко-

где: λ - частота возникновения пожара, м⁻²×год⁻¹; S - площадь пожарного отсека, м²; y - стоимость материальных ценностей в здании, включая само здание, руб×м⁻²; R - коэффициент ущерба при пожаре.

сти объектов защиты»³ допускают увеличение площади этажа пожарного отсека на 100 % при условии защиты пожарного отсека АУП. Данное положение экономически целесообразно, если приведенные затраты уменьшаются при устройстве АУП. Поэтому, подставляя в формулы (1), (2) $S=S_n$, где S_n - допустимая площадь этажа пожарного отсека согласно СП 2.13130.2020³, получим

$$P_a > \frac{E \cdot C_a}{2 \cdot R \cdot \lambda \cdot S_n}, \quad (5).$$

В качестве примера № 2 рассмотрим гостиницу, для которой $\lambda \cdot S_n=2,81 \cdot 10^{-2}$ год⁻¹ (Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности⁴). При $C_a=0,02$ и $R_a=0,5$ получим

$$P_a > \frac{0,02 \cdot 0,12}{2 \cdot 0,5 \cdot 2,81 \cdot 10^{-2}} = 0,085$$

Пример № 2 показывает, что нормативное положение о возможности увеличения площади пожарного отсека до двух раз подтверждается экономически на основе критерия приведенных затрат при указанных параметрах здания и АУП, если надежность тушения пожара АУП будет выше 0,085.

3. Эффективность использования АУП в пожарных отсеках может быть оценена, например, через уменьшение материального ущерба при пожаре. Определим относительную величину уменьшения ущерба при пожаре

$$\varepsilon \approx \frac{R \cdot \lambda \cdot y \cdot S^2 - R \cdot \lambda \cdot y \cdot S^2 (1 - P_a)}{R \cdot \lambda \cdot y \cdot S^2}, \quad (6)$$

³ СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»

⁴ Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 г. № 382

² Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

$$\text{откуда } \Xi = P_a \quad (7)$$

Формула (7) показывает, что с точностью до величины потерь при пожаре в здании непосредственно от опасных факторов пожара и огнетушащих средств в зоне срабатывания АУП (см. пояснение после формулы (3)) относительное уменьшение материального ущерба при пожаре пропорционально надежности тушения пожара АУП на площадях пожарных отсеков.

Результаты исследования и их об-суждения

Предложено использовать экономическое обоснование при выборе площадей пожарных отсеков на основе оценок затрат на противопожарные мероприятия и ущерба от пожаров в здании

Аналитические результаты, полученные с использованием критерия приведенных затрат, в рамках анализа связи «площадь этажа пожарного отсека – АУП», позволяют в рамках гибкого нормирования выбрать и обосновать оптимальную площадь пожарного отсека.

Таким образом, использование на практике критерия приведенных затрат позволяет определить оптимальную площадь этажа

пожарного отсека. Реализация предложенного метода в рамках гибкого нормирования позволяет осуществить выбор экономически целесообразного решения по противопожарной защите зданий.

Выводы

В рамках гибкого нормирования разработан инженерный метод выбора площадей этажей пожарных отсеков с учетом величины материальных потерь от пожаров и затрат на защиту пожарного отсека автоматической установкой пожаротушения.

Приведены оценки экономической целесообразности увеличения площадей пожарных отсеков в зданиях, основанные на минимальном количестве входной информации

При оптимизации площадей пожарных отсеков необходимо обеспечивать выполнение нормативных требований в части безопасности людей при пожаре.

Полученные результаты достаточно просто обобщить для учета текущих затрат при эксплуатации АУП, факторов технологических и функциональных особенностей использования этажа здания, связанных с увеличением площадей пожарных отсеков.

Список литературы

1. Пронин Д. Г. Безрасчётный метод обоснования увеличения площади этажей пожарных отсеков высотных зданий с несущим центральным ядром // *Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства. Информационный сборник*. М.: ГУП «ИТЦ Мосархитектуры», 2009. С. 152–153.
2. Пронин Д. Г., Корольченко Д. А. Научно-техническое обоснование размеров пожарных отсеков в зданиях и сооружениях: монография. М.: Издательство «Пожнаука», 2014. 104 с.
3. Пронин Д. Г., Корольченко Д. А. Деление здания на пожарные отсеки: Учебное пособие. М.: Издательство «Пожнаука», 2014. 40 с.
4. Аболенцев Ю. И. Экономика противопожарной защиты. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. 215 с.
5. Пронин Д. Г. Техничко-экономическое обоснование площади пожарных отсеков: здания сельскохозяйственного назначения // *Мир строительства и недвижимости*. 2010. № 35. С. 64.
6. Присадков В. И. Разработка методов выбора рациональных вариантов систем про-

тивожарной защиты промышленных зданий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01. М.: ВНИИПО, 1990. 540 с.

7. Ramachandran G. The economics of fire protection. E&FN Spon, UK, London, 1998. 230 p.

References

1. Pronin D. G. Bezraschetnyy metod obosnovaniy uvelicheniy ploshadi etazhey pozharnykh otsekov vysotnykh zdaniy s nesushim centralnym yadrom [An uncountable method for justifying the increase in the floor area of fire compartments of high-rise buildings with a load-bearing central core]. *Sovremennyye sistemy i sredstva kompleksnoy bezopasnosti i protivopozharnoy zashity obektov stroitelstva. Informatsyonnyy sbornik*. M.: GUP ITC Mosarkhitektury, 2009. pp. 152–153.
2. Pronin D. G., Korolchenko D. A. *Nauchno-tekhnicheskoe obosnovanie razmerov pozharnykh otsekov v zdaniyah i sooruzheniyah: monografiya* [Scientific and technical justification of the size of fire compartments in buildings and structures: monograph]. M.: «Pojnauka», 2014, 104 p.
3. Pronin D. G., Korolchenko D. A. *Delenie zdaniya na pozharnye otseki: Uchebnoe*

posobie [Division of the building into fire compartments: Textbook]. M.: «Pojnauka», 2014. 40 p.

4. Abolentsev Yu. I. *Ekonomika protivopozharnoy zashity* [Economics of fire protection]. M.: VPITSh MVD SSSR, 1985, 215 p.

5. Pronin D. G. *Techniko-ekonomicheskoe obosnovanie ploshadi pozharnykh otsekov: zdaniya selskohozyaystvennogo naznacheniya* [Feasibility study of the area of fire compartments: agricultural buildings]. *Mir stroitelstva i nedvijimosti*. 2010, issue 35, 64 p.

6. Prisdakov V. I. *Razrabotka metodov vybora racionalnykh variantov system protivopozharnoy zashity promyshlennykh zdaniy*. Diss. d-ra tekhn. nauk [Development of methods for selecting rational options for fire protection systems for industrial buildings. Dr. tech. sci. diss.]. M.: VNIIPPO, 1990. 540 p.

7. Ramachandran G. *The economics of fire protection*. E&FN Spon, UK, London, 1998. 230 p.

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

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 VNIIPPO EMERCOM of Russia,

Russian Federation, Balashikha

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

E-mail: k708@yandex.ru

Абашкин Александр Анатольевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

начальник отдела

E-mail: k708@yandex.ru

Abashkin Aleksandr Anatol'yevich

FGBU VNIIPPO 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

Prisdakov Konstantin Vladimirovich

ООО CentrPSR

Russian Federation, Vladimir

Senior Researcher

УДК 614.84

АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПОЖАРАХ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

А. Х. САЛИХОВА, Е. А. ШВАРЕВ, В. Н. МИХАЛИН, А. А. ЛАЗАРЕВ, Д. Б. САМОЙЛОВ

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

В статье изучены статистические данные о пожарах и их последствиях на производственных объектах. Исследованы проблемные вопросы в формировании информации о пожарах на производственных объектах и их применимости при расчете пожарного риска. Элементы научной новизны проводимого исследования различающихся подходов в практиках государственного надзора в области пожарной и промышленной безопасности заключаются в разработке основы системы информационного обеспечения данных надзоров в части предупреждения пожаров на производственных объектах. Практическая значимость исследования заключается в разработке нового организационно-технического подхода к учету пожаров на производственных объектах, в том числе при введении такого параметра как «темп прироста». Уточнение и конкретизация данных о местах и причинах возникновения пожаров будет способствовать повышению точности определения «частоты реализации пожароопасных ситуаций» и, соответственно, повысить точность расчета пожарного риска на производственных объектах. Более точные сведения о местах возникновения пожаров помогут также выработать дополнительные меры эшелонированной противопожарной защиты на наиболее опасных участках, откорректировать профилактическую работу различных субъектов профилактики.

Дано краткое описание информационно-аналитической базы о местах и причинах возникновения пожаров на производственных объектах защиты для использования в методологии расчетов пожарного риска и обеспечения пожарной безопасности.

Ключевые слова: производственный объект, авария, технологическое оборудование, пожар, взрыв, причина пожара, место возникновения аварии, износ оборудования, расчет пожарного риска.

ANALYSIS AND SYSTEMATIZATION OF STATISTICAL DATA ON FIRES AT PRODUCTION FACILITIES

A. H. SALIKHOVA, E. A. SHVAREV, V. N. MIKHALIN, A. A. LAZAREV, D. B. SAMOILOV

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: salina_77@mail.ru

The article examines statistical data on fires and their consequences at production facilities. The problematic issues in the formation of information about fires at industrial enterprises and their applicability in the calculation of fire risk are investigated. The elements of scientific novelty of the conducted research of different approaches in the practices of state supervision in the field of fire and industrial safety consist in the development of the basis of the system of information support of these supervision in terms of fire prevention at industrial facilities. The practical significance of the study lies in the development of a new organizational and technical approach to accounting for fires at production facilities, including the introduction of such a parameter as «growth rate». Clarification and specification of data on the places and causes of fires will help to increase the accuracy of determining the frequency of implementation of fire-hazardous situations and, accordingly, increase the accuracy of calculating fire risk at production facilities. More accurate information about the places of occurrence of fires will also help to develop additional measures of layered fire protection in the most dangerous areas, adjust the preventive work of various subjects of prevention.

A brief description of the information and analytical base on the places and causes of fires at industrial protection facilities for use in the methodology of fire risk calculations and fire safety is given.

Key words: production facility, accident, technological equipment, fire, explosion, cause of fire, place of occurrence of accident, equipment wear, fire risk calculation.

В настоящее время оценка состояния пожарной безопасности производственных объектов осуществляется по условию соответствия значений пожарного риска нормативным показателям и полноты и правильности выполнения на объекте обязательных требований пожарной безопасности. Статистические сведения о пожарах позволяют сделать вывод, что при всей полноте выполнения требований не исключается возможность возникновения пожароопасных ситуаций. Чтобы обеспечить безопасность какого-то объекта защиты необходимо изучать все возможные опасности, которые могут привести к возникновению пожара и (или) взрыва. Опасность и безопасность – это те основные понятия, которые используются при анализе проблематики безопасности объекта авторами многих научных трудов. Ведущие специалисты в области оценки пожарного риска предлагают к этим двум понятиям добавить еще одно понятие - «риск». Соответственно, возникает основная триада понятий «Опасность – риск – безопасность» [1].

В Федеральном законе¹ представлено наиболее точное определение понятия «пожарный риск» как меры возможности реализации пожарной опасности объекта защиты. С учетом этого является важным анализ различных источников опасностей и оценка рисков на производственных объектах различных отраслей промышленности. В дальнейшем, принятие научно-обоснованных мер по предупреждению опасностей и снижению их последствий позволит значительно сократить вероятность возникновения пожаров на производстве.

Представленный в статье материал является результатом многолетнего изучения

системы официального статистического учета пожаров и их последствий, применяемой в МЧС России. В практической деятельности использование основ статистической методологии и статистической информации об обстановке с пожарами позволяет проводить анализ динамики изменения количества пожаров, гибели людей и оценку значимости причин изменения пожарной опасности, выявление взаимосвязей показателей и явлений, влияющих на обстановку с пожарами и состояние пожарной безопасности объектов защиты. Официальный статистический учет пожаров и их последствий выполняет важную функцию – формирование базы данных для расчета пожарного риска. В данном случае определяется «частота реализации пожароопасных ситуаций».

В целях создания аналитической базы о причинах пожаров и местах их возникновения на производственных объектах защиты авторами данной работы проводится подробный анализ соответствующих статистических данных для производственных объектов. Данная работа проводится для совершенствования методологии расчетов пожарного риска, для эффективного планирования профилактической деятельности на данной категории объектов.

Далее представлен анализ вышеуказанных статистических данных, что подтверждает актуальность совершенствования подходов к учету пожаров и последствий от них.

Временные ряды о пожарах в зданиях производственного назначения за 2017–2021 гг. и результаты расчета одного из показателей динамики ряда приведены в табл. 1.

Таблица 1. Темп прироста количества пожаров в производственных зданиях за период с 2017 г. по 2021 г. [2]

Объект пожара	Количество пожаров, ед.				
	Прямой материальный ущерб, тыс. руб.				
	Погибло, чел.				
	2017	2018	2019	2020	2021
Производственное здание	2786	2813	3546	3438	3589
	974317	1343463	2089945	7132712	1783532
	59	71	72	83	110
Темп прироста	-	0,97	26,06	-3,05	4,39
	-	37,89	55,56	241,29	-74,99
	-	20,34	1,41	15,28	32,53

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

Для оценки динамики используем показатель темпа прироста (Тпр). Он отражает насколько поднялось или снизилось значение изучаемого параметра за исследуемый период времени. Показывается конкретная цифра, позволяющая судить о результатах деятельности в динамике. Из таблицы мы видим, что наблюдается за последние 5 лет положительный прирост количества пожаров и их последствий. Средний темп прироста за 5 лет составляет: по количеству пожаров – 6,54 %; по величине материального ущерба – 16,32 %; по

количеству погибших – 16,85 %. Такая динамика прироста опасного явления свидетельствует о наличии проблемных вопросах в обеспечении пожарной безопасности производственных объектов. Поэтому следует проводить причинно-следственный анализ для выявления «слабых мест» и последующей разработки эффективных мероприятий по снижению пожарной опасности объектов.

В табл. 2 сведены причины пожаров, произошедших на производственных объектах за 2017–2021 гг.

Таблица 2. Причины пожаров, произошедших на производственных объектах за 2017–2021 гг.

Причина пожара	Количество пожаров, ед.					Средний Тпр, %
	2017	2018	2019	2020	2021	
Пожары по причине поджога	347	331	302	276	226	-10,16
Пожары по технологическим причинам	187	217	297	297	335	15,69
Пожары из-за нарушения правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов	1838	1848	2225	2243	2460	7,56
Пожары из-за нарушения правил устройств и эксплуатации печей	412	468	567	607	570	8,45
Пожары из-за нарушения правил устройств и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и установок	71	79	106	81	75	1,38
Пожары по причине неосторожного обращения с огнем	826	706	977	880	734	-2,91
Пожары по причине шалости детей с огнем	54	35	55	31	38	-8,41
Причина не установлена	69	69	84	47	79	3,44

Из табл. видно, что наибольший прирост наблюдается по пожарам, причиной которых носят технический характер. В данном источнике отсутствует конкретизация технологических причин. Соответственно, специалистам производственных объектов сложно разработать мероприятия для устранения причин пожаров и снизить пожарную опасность производства, а органам Государственного пожарного надзора проверить выполнение этих мероприятий и оценить их результативность.

В табл. 3 проанализированы пожары на производственных объектах за 2021 г. по местам возникновения (по наибольшим показателям).

Наибольшая доля приходится на пожары, произошедшие в складских помещениях и кладовых (21,41 %) и в основных помещениях производства, цехах (20,37 %).

Анализ сведений табл. 2 и 3 не дает объективной информации о том, какой вид оборудования, конкретная причина пожара, какая технологическая среда находилась в оборудовании, режим работы оборудования.

Не рассмотрены в качестве причины пожара нарушения требований безопасности при реализации технологического процесса самим персоналом объекта.

Для сравнения авторами подробно изучались статистические сведения об авариях с последующим пожаром или взрывом сопровождавшихся пожаром на производственных объектах, которые представлялись в период с 2017 г. по 2021 г. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору². По результатам анализа сделан вывод, что большинство аварийных ситуаций на технологическом оборудовании с последующим пожаром и взрывом на промышленных предприятиях происходило вследствие устаревания машин и аппаратов с пожаро-взрывоопасными средами, наличия следов многочисленных ремонтов и ошибочных действий персонала при эксплуатации оборудова-

² Официальный сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) <http://www.gosnadzor.ru>

ния как при нормальном режиме работы, так и при аварийном [3]. Физический и моральный износ технологического оборудования пожаро-взрывоопасных видов производств, приводя-

щий к возникновению аварийных ситуаций, может рассматривать как один из видов технологических причин, по которым наблюдается рост количества пожаров с 2017 года.

Таблица 3. Места возникновения пожаров на различных объектах в 2021 г. в зданиях производственного назначения и на складах

Место возникновения	Электрощитовая	Складское помещение, кладовая	Основное производственное помещение, цех	Подсобные и вспомогательные производственные помещения	Помещение для хранения и ремонта транспорта (гараж)	Подсобное помещение	Чердачное помещение	Помещение котельной, теплогенераторов и др. установок
Количество, ед.	105	769	731	377	340	535	216	287

Анализ аварийных ситуаций по информационному ресурсу² позволил составить перечень оборудования пожаровзрывоопасных производств, на котором чаще всего происходят пожары и (или) взрывы. Рассмотрим данный перечень (в скобках приводится доля пожаров и взрывов):

- аппараты колонного типа: установки крекинга, полимеризации, ректификационные колонны и др. (23 %).

- подземное технологическое оборудование: трубопроводы, резервуары, шахтное оборудование нефтепромыслов и т.д. (7 %).

- оборудование тепловых технологических процессов: огневые печи, теплообменники, котельные и др. (16 %).

- технологическое оборудование с горючими газами на автогазозаправочных станциях (11 %) [3].

Проведя изучение двух систем учета пожаров, видим явные различия в регистрации объектов пожаров, мест возникновения пожара, причин пожара на производственных объектах. Если в системе регистрации аварийных ситуаций Ростехнадзора происходит всегда применительно к объектам промышленности, то в системе учета пожаров МЧС России такое явное разделение отсутствует. В нормативных документах электронной системы учета пожа-

ров³ приведены такие требования для заполнения:

- в поле «Тип предприятия, организации, учреждения» в зависимости от отрасли промышленности записываются типы предприятий класса функциональной пожарной опасности Ф.5 (например, предприятие электроэнергетики, предприятие черной металлургии, предприятие химической и нефтехимической промышленности, предприятие машиностроения и металлообработки, предприятие лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности);

- в поле «Вид объекта пожара» - указываются виды объектов производственного назначения (компрессорная, газогенераторная, водородная и кислородная станция, шахта, рудник, насосная, очистные сооружения, промывочно-пропарочная станция и другие).

- в поле «Место возникновения пожара» – проставляется код места (участка), где первоначально возник пожар (помещение, открытая технологическая установка, инженерно-технологическая коммуникация здания, места на открытой территории);

³ Распоряжение МЧС России от 22.12.2021 № 1113 «О формировании электронной базы данных пожаров в автоматизированной аналитической системе поддержки и управления контрольно-надзорными органами МЧС России»

- в поле «Причина пожара» – записывается причина, установленная экспертами на объекте. Для производственных объектов установлены документом следующие возможные причины, относящиеся к группе «Неисправность производственного оборудования»: нарушение технологического процесса производства: недостатки конструкции, изготовления и монтажа производственного оборудования, нарушение технологического регламента процесса производства, разряд статического электричества, разрушение движущихся узлов и деталей, попадание в движущиеся механизмы посторонних предметов, неисправность системы охлаждения аппаратов, трение поверхностей и другие.

Данная информация не учитывает всех особенностей технологических процессов и конструкций, режимов работы технологического оборудования на производственных объектах. При этом, в нормативных документах по оценке пожарного риска⁴ указано, что для

определения «частоты реализации пожароопасных ситуаций» требуются сведения об авариях на технологическом оборудовании или расчет надежности его эксплуатации. В связи с этим мы делаем вывод об отсутствии объективных источников информации для сбора сведений о «частотах реализации пожароопасных ситуаций» на производственных объектах различных отраслей промышленности.

В Методике⁴ в таблицах Приложения 1 показатели, необходимые для расчета пожарного риска («частота реализации пожароопасных ситуаций», частоты возникновения пожаров в зданиях), приведены только для ограниченной номенклатуры оборудования и видов помещений. Представленный перечень является достаточно условным и не обеспечивает точность расчетов пожарного риска, а значит и вывод о состоянии пожарной безопасности объекта защиты может не соответствовать действительности.

Таблица 4. Применение базы данных о причинах и местах возникновения пожаров на технологическом оборудовании

Управленческая деятельность в области обеспечения пожарной безопасности	Осуществление контрольно-надзорной деятельности МЧС России	Проектная деятельность при строительстве и реконструкции производства
- организация обучения специалистов объекта мерам пожарной безопасности эксплуатации пожароопасного технологического оборудования	- определение категории риска объекта с учетом наличия взрывопожароопасного технологического оборудования и «частоты возникновения пожароопасных ситуаций»	- точный расчет пожарного риска для производственного объекта
- планирование и организация учений по ликвидации аварийных ситуаций	- разработка (переработка) проверочных листов для различных видов производственных объектов с учетом особенностей конструкции и режимов работы взрывопожароопасного технологического оборудования	- проектирование систем обеспечения пожарной безопасности в зданиях, сооружениях и на технологическом оборудовании производственного объекта
- организация пропаганды соблюдения требований пожарной безопасности эксплуатации пожароопасного технологического оборудования	- точная экспертная оценка правильности проведения расчета пожарного риска на объекте	
- планирование бюджета на установку систем обеспечения пожарной безопасности	- организация эффективной профилактической деятельности по предупреждению возникновения пожаров	

⁴ Приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Авторами в настоящее время ведется работа по формированию электронной базы данных об авариях на пожароопасном технологическом оборудовании, последствиями которых являлись пожары и взрывы. Информация в базе данных учитывает классификацию аварийных ситуаций в зависимости от: вида конструкции технологического оборудования, вида пожаровзрывоопасной технологической среды, способа размещения, срока эксплуатации оборудования, режима работы оборудования. Процесс создания базы позволил уточнить иницирующие аварии события. С практической точки зрения, уточненные (конкретизированные) сведения о местах возникновения пожаров помогут выработать дополнительные меры эшелонированной системы обеспечения пожарной безопасности на наиболее опасных участках, откорректировать профилактическую работу различных субъектов профилактики.

Подводя итог, можно сказать, что тре-

буется разработка единой унифицированной системы регистрации и учета аварийных ситуаций, пожаров и взрывов на производственных объектах защиты для всех ведомств с последующей разработкой информационного портала. Анализ и систематизация статистических данных о пожарах и их последствиях по различным группировочным признакам позволяет выявлять динамику изменения изучаемого явления, оценивать влияние различных факторов, рассчитывать частоту и вероятность возникновения. Разрабатываемая база данных, систематизирующая информацию о причинах и местах возникновения аварийных ситуаций с последующим пожаром на технологическом оборудовании имеет практическое значение для различных видов деятельности. В табл. 4 показано распределение применимости данной базы в различных сферах деятельности, направленных на обеспечение пожарной безопасности.

Список литературы

1. Основы теории пожарных рисков и её приложения: монография / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, Е. А. Клепко [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 192 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статистический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
3. Салихова А. Х., Шулякина Ю. С., Михалин В. Н. Разработка информационной базы о причинах и местах возникновения поражающих факторов источников чрезвычайных ситуаций на технологическом оборудовании производственных объектов // Пожарная и аварийная безопасность. 2021, № 4 (23). С. 46–52.

References

1. *Osnovy teorii pozharnykh riskov i eyo prilozheniya: monografiya* [Fundamentals of the

theory of fire risks and its applications: monograph] / N. N. Brushlinskij, S. V. Sokolov, E. A. Klepko [et al.]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012, 192 p.

2. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2021: statistical compendium]. Balashikha: FGBU VNIIPPO MCHS Rossii, 2022, 114 p.

3. Salikhova A. H., Shulyakina Yu. S., Mihalina V. N. Razrabotka informacionnoj bazy o prichinah i mestah vozniknoveniya porazhayushchih faktorov istochnikov chrezvychajnykh situacij na tekhnologicheskom oborudovanii proizvodstvennykh ob"ektov [Development of an information base on the causes and places of occurrence of damaging factors of sources of emergency situations on the technological equipment of production facilities]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'*, 2021, vol. 4 (23), pp. 46–52.

Салихова Аниса Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доцент, кандидат технических наук, доцент

E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

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

Russian Federation, Ivanovo

Docent, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

E-mail: salina_77@mail.ru

Шварев Евгений Анатольевич

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

доцент, кандидат технических наук, доцент

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Shvarev Evgeny Anatolevich

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

Russian Federation, Ivanovo

Docent, candidate of technical sciences, Associate Professor

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Михалин Владимир Николаевич

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

старший преподаватель

E-mail: mihalin_v_n@mail.ru

Mikhalin Vladimir 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: mihalin_v_n@mail.ru

Лазарев Александр Александрович

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

начальник кафедры, кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: kgn@edufire37.ru

Lazarev Alexander Alexandrovich

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

Russian Federation, Ivanovo

Head of the Department, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

E-mail: kgn@edufire37.ru

Самойлов Дмитрий Борисович

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

начальник учебно-научного комплекса, кандидат технических наук, доцент

E-mail: shihonage@mail.ru

Samoilov Dmitry 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

Head of the educational and scientific complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

E-mail: shihonage@mail.ru

УДК 614.841

ОЦЕНКА ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕКОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О. Е. СТОРОНКИНА, Т. А. МОЧАЛОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: oleg1968@mail.ru, mihailmochalov@mail.ru

Значительную часть горючей нагрузки в жилых помещениях составляют текстильные материалы и изделия из них. Практически все текстильные материалы горючие, однако, процесс их горения зависит от волокнистого состава, поверхностной и объемной плотности материала, от наличия специальных обработок, которые будут влиять на параметры и опасные факторы пожара. Согласно статистическим данным, весьма частой причиной пожаров в жилых помещениях является неосторожность при курении, обусловленная контактом тлеющих табачных изделий (далее ТТИ) с элементами мягкой мебели, а число погибших при этом составляет около 25 % от общего числа погибших людей при пожарах в жилых помещениях¹. Поэтому получение данных о пожарной опасности декоративных тканей имеет важное практическое значение не только в целях оценки пожарной опасности, но и для прогнозирования и исследования развития пожара.

В данной статье представлены экспериментальные данные комплексного подхода к оценке воспламеняемости современных текстильных материалов декоративного назначения с применением различных методов испытаний.

Ключевые слова: текстильные материалы, тлеющие табачные изделия, температура самовоспламенения, термогравиметрический анализ, пожарно-техническая экспертиза.

ASSESSMENT OF THE IGNITABILITY OF MODERN TEXTILE MATERIALS FOR DECORATIVE PURPOSE

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: oleg1968@mail.ru, mihailmochalov@mail.ru

A significant part of the combustible load in residential premises is textile materials and products made from them. Almost all textile materials are combustible, however, the process of their combustion depends on the fibrous composition, surface and bulk density of the material, on the presence of special treatments that will affect the parameters and hazards of a fire. According to statistics, a very common cause of fires in residential premises is carelessness when smoking, due to the contact of smoldering tobacco products (further TTI) with elements of upholstered furniture, and the death toll in this case is about 25 % of the total number of deaths in fires in residential premises. Therefore, obtaining data on the fire hazard of decorative fabrics is of great practical importance not only for assessing fire hazard, but also for predicting and studying the development of a fire.

This article presents the experimental data of an integrated approach to assessing the flammability of modern decorative textile materials using various test methods.

Key words: textile materials, smoldering tobacco products, self-ignition temperature, thermogravimetric analysis, fire-technical expertise.

Для оформления современного интерьера помещений используются различные текстильные материалы и изделия из них, в основном, произведенные из синтетических волокон. Опасность использования в интерьерах тканей из синтетических волокон связана с высокой горючестью и с особенностями горения данных волокон. Наличие в помещениях горючей нагрузки из синтетических тканей, используемых для декора интерьера, является серьезным источником опасности во время пожаров, поскольку многие синтетические ткани легко воспламеняются, способствуют распространению пламени и при горении выделяют значительное количество дыма и токсичных газов.

Распространенной причиной пожаров в жилых помещениях является неосторожное обращение с огнем, в частности, неосторожность при курении. Горящая или тлеющая сигарета, оставленная в постели или на обитой тканью мебели, нагревает материалы, с которыми контактирует, что может привести к началу их тления, с последующим переходом к возгоранию и, таким образом, стать источником пожара. ТТИ относятся к маломощным источникам зажигания, пожарная опасность которых определяется температурой и временем тления. Температура тления табачных изделий и их тлеющая способность зависят от теплофизических свойств табака и бумаги, из которых они изготавливаются, а также от интенсивности диффузии окислителя к зоне тления. Приток воздуха в зону тления приводит к повышению температуры тления, в том числе и в месте соприкосновения источника с горючим материалом. Зажигающая способность ТТИ зависит от его ориентации на материале. При нахождении источника зажигания внутри материала, на единицу площади поверхности материала будет воздействовать большее количество тепла, чем при нахождении его на поверхности, так как в первом случае все тепло расходуется на нагревание материала и его возгорание [1].

Для определения характера поведения текстильных материалов при взаимодействии с открытым пламенем и объектами, имеющими повышенную температуру, необходимо знать их показатели пожарной опасности, к которым относятся – группа горючести, воспламеняемость, скорость распространения горения и др.

Данная работа является продолжением ранее начатого исследования [2], в котором нами использован комплексный подход к оценке воспламеняемости современных текстильных материалов декоративного назначения для систематизации данных по их пожарной опасности с целью предупреждения пожаров и прогнозирования развития пожара на объектах,

горючая нагрузка на которых обусловлена текстильными материалами и изделиями из них.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы текстильных материалов (производства Китайской Народной Республики) состоящие из синтетических волокон, широко используемые при изготовлении мягкой мебели.

Испытания на воспламеняемость проводили в соответствии с ГОСТ Р 53294-2009, устанавливающим методы определения воспламеняемости от малокалорийных источников зажигания изделий (постельных принадлежностей, элементов мягкой мебели, штор и занавесей)².

При проведении испытания с ТТИ, образец ткани «Энигма», состоящий из 100% полиэстера, отмечено, что тление материала к моменту окончания тления табачного изделия полностью прекращалось. При осмотре образца, после удаления сгоревшего ТТИ выявлено, что ткань расплавилась и затвердела (рис. 1), это характерно для полиэстеровых волокон. Прогар ткани в длину составил 52 мм, что соответствует длине ТТИ до фильтра. Обивка верхней части («спинки») импровизированного дивана так же расплавилась и затвердела, ткань закоптилась вверх. Поролоновая подложка прогорела на такую же длину и ширину, глубина прогара составила 2 мм.

При проведении испытания с ТТИ образец ткани «Флок-софт», состоящий из 65 % полиэстера, 35 % хлопка, также наблюдалось полное прекращение тления материала к моменту окончания тления табачного изделия (рис. 2). При осмотре образца после удаления ТТИ выявлено, что ткань под ним расплавилась, расплав затвердел и стал стекловидным, это характерно для тканей, содержащих полиэстер в составе. Прогар в длину составил 50 мм. Обивка верхней части («спинки») импровизированного дивана так же расплавилась и затвердела, ткань закоптилась вверх, поролоновая подложка прогорела на такую же длину и ширину, глубина прогара составила 2 мм.

Образец ткани «Форест», состоящий из 65 % полиэстера, 18 % акрила, 17 % нейлона, в испытании с ТТИ не поддерживал тления или горения к моменту окончания тления табачного изделия (рис. 3). При осмотре образца после удаления ТТИ выявлено, что ткань стала рыхлой и обуглилась, это характерно для материала, который содержит в составе акрил. Прогар в

² ГОСТ Р 53294-2009 «Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость».

длину составил 55 мм. Обивка верхней части («спинки») импровизированного дивана так же расплавилась и затвердела, на ткани видны следы закопчения, направленные вверх. Поролоновая подложка прогорела на такую же длину и ширину, глубина прогара составила 2 мм.

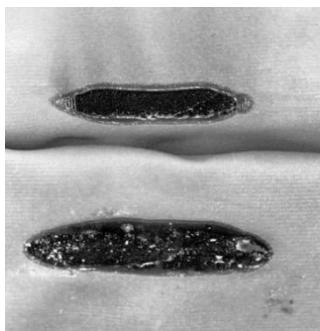


Рис. 1. Образец ткани «Энигма» после удаления ТТИ

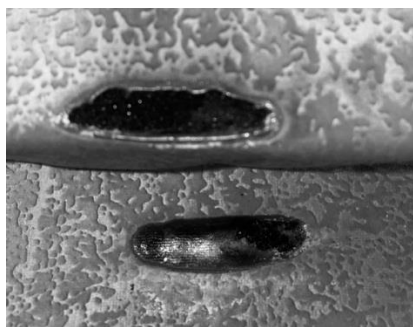


Рис. 2. Образец ткани «Флок-софт» после удаления ТТИ



Рис. 3. Образец ткани «Форест» после удаления ТТИ

По результатам проведенных испытаний выявлено, что образцы тканей «Энигма», «Флок-софт» и «Форест» не поддерживали самостоятельного горения, образцы не обуглились на расстоянии более 100 мм в любом из направлений от места воздействия тлеющего

табачного изделия, горение или тление не распространилось за время испытаний до верхней или нижней границы испытательного стенда или на всю толщину материалов, поэтому данные текстильные материалы нельзя отнести к легковоспламеняемым по ГОСТ 53294-2009 п. 5.5.

Проведенные исследования показали, что при испытании на воспламенение исследуемых образцов низкокалорийным источником зажигания (ТТИ, тяга при этом отсутствовала), температура которого по данным [3, 4] составляет 320-520°C, все образцы не поддерживали самостоятельного горения.

Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами испытаний, проведенных согласно методике [5]. Сущность метода заключалась в определении температуры, при которой возможно воспламенение образца при контакте продуктов термического разложения от источника зажигания [5]. Метод реализуется в диапазоне температур от 25 до 600°C (табл. 1).

Температура самовоспламенения исследуемых тканей составила 525–535°C, что превышает температурные условия опыта с ТТИ. Этим, по-видимому, объясняется отсутствие воспламенения тлеющим табачным изделием исследованных образцов текстильных материалов декоративного назначения.

Для комплексной оценки пожарной опасности текстильных материалов и получения данных, характеризующих изменение их пожароопасных свойств в процессе нагрева, следует также проводить термические исследования материалов. Одним из видов термических исследований является термогравиметрический анализ (ТГА) [6]. В опубликованной ранее нами работе [2], приведены результаты испытаний образцов тканей с помощью термического анализатора SETSYS Evolution (Setaram Instrumentation, France), дающие представление о характере поведения исследуемых тканей при нагревании, в зависимости от их состава. Как видно из табл. 2, экспериментальные данные полученные с помощью термогравиметрического метода исследования согласуются с данными испытаний на воспламеняемость.

Наличие пиков разложения для ткани «Энигма» при температуре 438,3°C; для ткани «Флок-софт» – 438°C, а для ткани «Форест» – 430°C и 438°C, свидетельствует о протекании термоокислительной деструкции с образованием газообразных продуктов. В условиях пожара в данном температурном интервале можно предполагать возникновение пламенного горения исследуемых материалов [6].

Таблица 1. Значения температур самовоспламенения и времени воспламенения образцов текстильных тканей

Описание образца	Результаты эксперимента
Ткань «Энигма», состав: 100% полиэстер; поверхностная плотность - 310 г/м ²	t _{св} = 525°C
Ткань «Форест», состав: нейлон - 17%, полиэстер - 65%, акрил - 18%; поверхностная плотность - 340 г/м ²	t _{св} = 530°C
Ткань «Флок-софт», состав: полиэстер - 65%; хлопок - 35%; поверхностная плотность - 300 г/м ²	t _{св} = 535°C

Таблица 2. Показатели пожарной опасности и термогравиметрические параметры исследуемых образцов текстильных тканей [2]

Наименование	Температура, °C		
	начала термического разложения по кривой TG	Самовоспламенения	потери 50% массы
Ткань «Энигма»	412	525	438,3
Ткань «Форест»	408	530	430, 438
Ткань «Флок-софт»	413	535	438

Полученные экспериментальные данные о пожарной опасности исследованных образцов обивочной мебельной ткани являются важными оценочными характеристиками, позволяющими сделать выводы об их способности к воспламенению и распространению горе-

ния при воздействии различных источников тепла, так как определение причин возникновения горения является важным аспектом в деятельности следственных органов и судебно-экспертных учреждений при расследовании пожаров.

Список литературы

1. Пожарно-техническая экспертиза: Учебник / М. А. Галишев, С. В. Шарапов, А. В. Попов [и др.]. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2013. 151 с.

2. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Оценка пожароопасных показателей интерьерных тканей // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2(39). С. 96–101. EDN CZERFR.

3. Таубкин И. С., Рудакова Т. А., Сухов А. В. К вопросу о пожарной опасности сигарет и папирос // Теория и практика судебной экспертизы. Научно-практический журнал. РФЦСЭ. М.: 2009, № 1 (13). С. 55–60.

4. Саклантий А. Р., Таубкин И. С. Температура тления табачных изделий. Метод ее измерения с помощью микротермопар для решения вопроса о причине пожара // Теория и практика судебной экспертизы. Научно-практический журнал. РФЦСЭ. М.: 2016, № 1(41). С. 112–117.

5. Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов / Ю. Р. Шебеко [и др.]. М.: ВНИИПО, 2004. 67 с.

6. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: Методическое пособие / Е. Д. Андреева [и др.]. М.: ВНИИПО, 2012. 60 с.

References

1. *Pozharno-tekhnicheskaya ekspertiza: Uchebnik* [Fire and technical expertise: Textbook] / M. A. Galishev, S. V. Sharapov, A. V. Popov [et al.]. SPb.: Sankt-Peterburgskiy universitet GPS MCHS Rossii, 2013, 151 p.

2. Storonkina O. E., Mochalova T. A. Otsenka pozharoопасnykh pokazateley inter'yernykh tkaney [Assessment of fire hazard indicators of interior fabrics]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2021, vol. 2(39), pp. 96–101. EDN CZERFR.

3. Taubkin I. S., Rudakova T. A., Sukhov A. V. K voprosu o pozharной opasnosti sigaret i papiros [To the question of the fire hazard of cigarettes and cigarettes] *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. Nauchno-prakticheskiy zhurnal. RFTSSE*. M.: 2009, № 1 (13). pp. 55–60.

4. Saklantiy A.R., Taubkin I.S. Temperatura tleniya tabachnykh izdeliy. Metod yeye izmereniya s pomoshch'yu mikrotermopar dlya resheniya voprosa o prichine pozhara [Smoldering

temperature of tobacco products. The method of its measurement using microthermocouples to resolve the issue of the cause of the fire] *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. Nauchno-prakticheskiy zhurnal*. RFTSSE. M.: 2016, № 1 (41). pp. 112-117.

5. *Metodika opredeleniy usloviy teplovogo samovozgoraniy veshestv i materialov* [Method for determining the conditions of thermal

spontaneous combustion of substances and materials] Shebeko U.R. [et al.]. Moscow: VNIPO, 2004. 67 p.

6. *Primenenie termicheskogo analiza pri issledovanii i ekspertize pogarov: Metodichyeskoe posobie* [The use of thermal analysis in the study and examination of fires: Methodological guide]. Andreeva E.D [et al.]. Moscow: VNIPO, 2012. 60 p.

Сторонкина Ольга Евгеньевна

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

кандидат химических наук, доцент кафедры

E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina Ol'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

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

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

УДК 678.067.5

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БЕТОНОВ
ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ НАГРЕВЕ**

М. В. АКУЛОВА, Д. В. ФЛЕГОНТОВ, М. В. ПУГАНОВ, С. Н. УЛЬЕВА

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

E-mail: m_akulova@mail.ru, den.flegontov@yandex.ru, mvpuganov@yandex.ru, jivotjagina@mail.ru

В результате пожара возможно обрушение конструкций, как при тушении, так и последующей эксплуатации здания или сооружения. Кроме того, существуют скрытые высокотемпературные факторы, которые воздействуют на строительные конструкции, они опасны тем, что приводят к невозможности оценки степени повреждения объекта. Установление степени повреждения строительных конструкций особенно в отсутствии очевидных следов относится к категории особо сложных. В работе предложен комплексный метод определения очагов наибольшего термического повреждения при пожаре (иного температурного проявления) и степени его воздействия на бетонную конструкцию. Собрана база данных и разработана программа, позволяющая с помощью дериватографического анализа бетонных композитов оценить степень изменения физико-механических характеристик конструкций. Показаны результаты применения программного обеспечения «Программное обеспечение для термического анализа бетонов при температурном нагреве», разработанного на программной платформе «NET Framework» с применением компонента для рисования графиков ZedGraph. Разработанная система предназначена для наиболее быстрого и эффективного установления температуры нагрева исследуемого образца и марки бетона. Программа содержит в себе базу данных часто применяемых марок бетона, таких как В15, В22,5 и В25 при температуре окружающей среды 20°C и нагретых до 500 и 900°C, изученных методом синхронного термического анализа.

Ключевые слова: высокотемпературные факторы, термический анализ, бетон, база данных, программное обеспечение.

**SOFTWARE FOR THERMAL ANALYSIS
OF CONCRETES AT TEMPERATURE HEATING**

A. V. AKULOVA, D. V. FLEGONTOV, M. V. PUGANOV, S. N. ULYEVA

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: m_akulova@mail.ru, den.flegontov@yandex.ru, mvpuganov@yandex.ru, jivotjagina@mail.ru

As a result of a fire, the collapse of structures is possible, both during extinguishing and subsequent operation of the building or structure. In addition, there are hidden high-temperature factors that affect building structures, they are dangerous because they lead to the impossibility of assessing the degree of damage to the object. Establishing the degree of damage to building structures, especially in the absence of obvious traces, is classified as particularly difficult. The paper proposes a comprehensive method for determining the foci of the greatest thermal damage in a fire (other temperature manifestation) and the degree of its impact on a concrete structure. A database has been collected and a program has been developed that allows, with the help of derivatographic analysis of concrete composites, to assess the degree of change in the physical and mechanical characteristics of structures. The results of using the software «Software for thermal analysis of concretes at temperature heating», developed on the software platform «NET Framework» with the use of the component for drawing graphs ZedGraph, are shown. The developed system is designed for the fastest and most efficient determination of the heating temperature of the test sample and the grade of concrete.

The program will contain a database of commonly used concrete grades, such as B15, B22.5 and B25 at an ambient temperature of 20 °C and heated to 500 and 900°C, studied by synchronous thermal analysis.

Key words: high-temperature factors, thermal analysis, concrete, database, software.

В настоящее время для строительства зданий и сооружений используются новые современные материалы. Процесс разработки современных материалов не останавливается, многие из них обладают уникальными свойствами – снижается их горючесть, воспламеняемость, а значит и опасность разрушения строительных конструкций и здания в целом. Наиболее распространены для изготовления строительных конструкций неорганические вяжущие, такие как цемент, известь, гипс. Они технологичны и позволяют получать изделия различной формы и размеров. Наиболее распространенными являются бетонные и железобетонные конструкции на портландцементном или смешанных вяжущих. Они не горючи, однако конструкции из них при высокой температурной нагрузке и больших перепадах температур претерпевают различные физические и физико-химические изменения. При пожаре и его тушении разность температур может достигать более 1000°C, в конструкции возникают внутренние напряжения и появляются трещины. При изготовлении бетонной конструкции в смесь вяжущего и заполнителей добавляется вода, происходят химические процессы, образуется новая кристаллическая решетка, в состав которой входит вода, которая называется кристаллической, получается бетонный камень. Такой камень хорошо работает на воздухе и в водной среде, однако при сильном нагреве (500–800°C) разрушается кристаллическая решетка и бетонный камень теряет свою прочность. Возможно обрушение конструкции [1–3].

Очень часто после пожара не проводится обследование конструкций, делается ремонт, становится сложно определить степень и место их повреждения. Невозможность оценки степени повреждения здания может привести к необратимым последствиям - обрушению конструкций здания в момент нахождения в нем людей и к гибели людей. Своевременное и правильное установление мест термического повреждения помогает определить возможность дальнейшей эксплуатации объекта, помочь в разработке и проведении мероприятий по предупреждению разрушений, вызванных как пожаром, так и иными источниками нагрева [4–6].

При сохранении целостности здания сначала нужно установить очаг пожара и место наибольшего повреждения конструкции. Это можно сделать с помощью ультразвукового

исследования, однако оно не дает полной картины глубины и степени повреждения конструкции. Обычные разрушающие методы контроля здесь невозможны из-за необходимости отбора больших элементов конструкции. Поэтому разработка и внедрение комплексной методики установления степени термического повреждения бетонных конструкций в результате воздействия пожара и иных тепловых источников с помощью дериватографических методов анализа является актуальной задачей. Для термографического анализа нужен один грамм материала, который можно отобрать на любой глубине бетонного камня.

Целью работы являлась разработка программного обеспечения для термического анализа бетонов при температурном нагреве.

С помощью методов тонкого анализа была систематизирована зависимость изменения повреждения строительных бетонных конструкций от интенсивности термической нагрузки, что позволяет без повреждения конструкции сделать вывод о возможности дальнейшей эксплуатации объекта. Проанализированы и выбраны методы анализа бетона, которые позволяют в кратчайшие сроки определять место наибольшего термического повреждения [7].

Для разработки программного обеспечения предварительно был проведен системный анализ зависимости физико-механических характеристик бетонных композитов от изменения их структуры и физико-химического состава. Исследования показали увеличение пределов прочности бетонного камня при увеличении количества высокоосновных кристаллогидратов кальция, что можно проследить по графикам дериватографического анализа. При высокотемпературном нагреве кристаллогидраты разрушаются и прочностные характеристики бетона снижаются. Данный анализ был положен в основу создания базы данных для программного обеспечения термического анализа бетона.

Предварительно была разработана комплексная методика по установлению структурных особенностей бетонных композитов при нагреве определяющая зоны теплового воздействия, время теплового воздействия и степень повреждения конструкций, что, в свою очередь, дает возможность определить место наиболее интенсивного повреждения, а далее сделать заключение о возможности дальнейшей эксплуатации поврежденных конструктивных элементов.

Получены результаты оценки физических свойств бетонов разных марок, подвергшихся температурному воздействию различной интенсивности, методами физико-химического анализа, ультразвукового анализа, синхронного термического анализа. Определены зависимости изменения физико-механических характеристик от изменения минералогического состава бетона при различных степенях нагрева [8, 9]. Затем была собрана база данных и разработана программа, позволяющая с помощью дериватографического анализа бетонных композитов оценить степень изменения физико-механических характеристик конструкций.

Написание программы осуществлялось на базе на программной платформе «NET Framework» с применением компонента для рисования графиков ZedGraph.

Разработанная система предназначена для наиболее быстрого и эффективного установления температуры нагрева исследуемого образца и марки бетона.

Программа содержит в себе базу данных часто применимых марок бетона, таких как В15, В22,5 и В25 температуры окружающей среды 20°C и нагретых до 500 и 900°C подвергнутых методу синхронного термического анализа.

Для удобства обработки данных полученные параметры исследуемого образца со-

храняются программным обеспечением прибора SETSYS EVOLUTION в формате Microsoft Excel с заданными по умолчанию количеством полученных анализатором параметров.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК

Тип и версия операционной системы: Windows 8

Язык программирования: С#

Программное обеспечение для термического анализа бетонов при температурном нагреве позволяет осуществлять обработку информации, полученную в результате лабораторного исследования и сравнения ее с имеющимися в программе данными.

Объем программы для ЭВМ: 65130496 байт

Для удобства обработки данных полученные параметры исследуемого образца сохраняются программным обеспечением прибора SETSYS EVOLUTION в формате Microsoft Excel с заданными по умолчанию количеством полученных анализатором параметров. Отображенные данные прибора SETSYS EVOLUTION показано на рис. 1.

Полученные по результатам обработки прибором данные в редакторе Microsoft Excel дополняются двумя столбцами «Масса реальная» и «Потеря массы в %» (рис. 2, 3)

Index	Time (s)	Furnace T	TG (mg)	dTG (mg/r)	HeatFlow (mW)
1	0	66.268691	12.748441	-0.004035	21.648731
2	0,8	66.268691	12.748401	-0.004035	21.697378
3	01.июн	64.467254	12.748352	-0.004035	21.751136
4	02.апр	66.823084	12.748305	-0.003876	21.733577
5	03.фев	70.07398	12.748258	-0.003876	21.661315
6	4	68.094871	12.748212	-0.003697	21.586499
7	04.аер	68.535856	12.748171	-0.003697	21.533403
8	05.июн	70.007125	12.748138	-0.003501	21.474405
9	06.апр	70.473096	дек.81	-0.003501	21.399916
10	07.фев	70.580141	12.748059	-0.003302	21.327605
11	8	70.599451	12.748012	-0.003302	21.259261
12	08.аер	70.583548	12.747962	-0.003109	21.211195

Рис. 1. Отображенные данные прибора SETSYS EVOLUTION

Screenshot of Microsoft Excel showing a data table with an additional column for 'Real Mass'. The table has columns for Index, Time (s), Furnace T, Sample T, TG (mg), dTG (mg/min), HeatFlow (m), and two additional columns: 'масса реальная' and 'потеря массы, %'. The formula bar shows the formula for the 'Real Mass' column: $=E2+I1,9$.

Index	Time (s)	Furnace T	Sample T	TG (mg)	dTG (mg/min)	HeatFlow (m)	масса реальная	потеря массы, %
1	0	69,23526	73,32439	1,999267	0,001716	20,634576	43,899267	0,000000
2	0,8	69,27705	73,32439	1,999301	0,001716	20,545898	43,899301	-0,000077
3	01,06,202с	69,33936	77,41509	1,999341	0,001716	20,51287	43,899341	-0,000169
4	02,04,202с	69,43728	79,0826	1,999387	0,001814	20,545065	43,899387	-0,000273
5	03,02,202с	69,59959	74,85977	1,999432	0,001814	20,616122	43,899432	-0,000376
6	4	69,77971	73,32328	1,999472	0,001931	20,685661	43,899472	-0,000467
7	04,08,202с	69,88588	76,37479	1,999507	0,001931	20,727128	43,899507	-0,000547
8	05,06,202с	69,82082	78,61385	1,999541	0,002057	20,726584	43,899541	-0,000624
9	06,04,202с	69,5681	77,51229	1,999571	0,002057	20,701914	43,899571	-0,000692
10	07,02,202с	69,30169	76,98862	1,999571	0,002188	20,690595	43,899571	-0,000692
11	8	69,15172	78,29116	1,999627	0,002188	20,707669	43,899627	-0,000820
12	08,08,202с	69,14485	78,82332	1,999645	0,002318	20,765035	43,899645	-0,000861
13	09,06,202с	69,25989	76,88745	1,999662	0,002318	20,828895	43,899662	-0,000900
14	10,04,202с	69,34206	77,28928	1,999681	0,002444	20,852926	43,899681	-0,000943
15	11,02,202с	69,31535	78,60947	1,999701	0,002444	20,822263	43,899701	-0,000989
16	12	69,27017	78,38661	1,999721	0,002566	20,772808	43,899721	-0,001034
17	12,08,202с	69,27428	78,6021	1,999746	0,002566	20,726193	43,899746	-0,001091
18	13,06,202с	69,26058	78,631	1,999767	0,002687	20,672633	43,899767	-0,001139
19	14,04,202с	69,17291	78,65377	1,999788	0,002687	20,6012	43,899788	-0,001187
20	15,02,202с	69,07088	78,21887	1,999807	0,002806	20,543329	43,899807	-0,001230
21	16	69,17841	77,54301	1,999824	0,002806	20,498717	43,899824	-0,001269
22	16,08,202с	69,603	76,18711	1,999839	0,002924	20,454094	43,899839	-0,001303

Рис. 2. Дополнительная колонка «Масса реальная»

Screenshot of Microsoft Excel showing a data table with an additional column for 'Mass Loss, %'. The table has columns for Index, Time (s), Furnace T, Sample T, TG (mg), dTG (mg/min), HeatFlow (m), and two additional columns: 'масса реальная' and 'потеря массы, %'. The formula bar shows the formula for the 'Mass Loss, %' column: $=(43,899267-H2)/43,899267*100$.

Index	Time (s)	Furnace T	Sample T	TG (mg)	dTG (mg/min)	HeatFlow (m)	масса реальная	потеря массы, %
1	0	69,23526	73,32439	1,999267	0,001716	20,634576	43,899267	0,000000
2	0,8	69,27705	73,32439	1,999301	0,001716	20,545898	43,899301	-0,000077
3	01,06,202с	69,33936	77,41509	1,999341	0,001716	20,51287	43,899341	-0,000169
4	02,04,202с	69,43728	79,0826	1,999387	0,001814	20,545065	43,899387	-0,000273
5	03,02,202с	69,59959	74,85977	1,999432	0,001814	20,616122	43,899432	-0,000376
6	4	69,77971	73,32328	1,999472	0,001931	20,685661	43,899472	-0,000467
7	04,08,202с	69,88588	76,37479	1,999507	0,001931	20,727128	43,899507	-0,000547
8	05,06,202с	69,82082	78,61385	1,999541	0,002057	20,726584	43,899541	-0,000624
9	06,04,202с	69,5681	77,51229	1,999571	0,002057	20,701914	43,899571	-0,000692
10	07,02,202с	69,30169	76,98862	1,999571	0,002188	20,690595	43,899571	-0,000692
11	8	69,15172	78,29116	1,999627	0,002188	20,707669	43,899627	-0,000820
12	08,08,202с	69,14485	78,82332	1,999645	0,002318	20,765035	43,899645	-0,000861
13	09,06,202с	69,25989	76,88745	1,999662	0,002318	20,828895	43,899662	-0,000900
14	10,04,202с	69,34206	77,28928	1,999681	0,002444	20,852926	43,899681	-0,000943
15	11,02,202с	69,31535	78,60947	1,999701	0,002444	20,822263	43,899701	-0,000989
16	12	69,27017	78,38661	1,999721	0,002566	20,772808	43,899721	-0,001034
17	12,08,202с	69,27428	78,6021	1,999746	0,002566	20,726193	43,899746	-0,001091
18	13,06,202с	69,26058	78,631	1,999767	0,002687	20,672633	43,899767	-0,001139
19	14,04,202с	69,17291	78,65377	1,999788	0,002687	20,6012	43,899788	-0,001187
20	15,02,202с	69,07088	78,21887	1,999807	0,002806	20,543329	43,899807	-0,001230
21	16	69,17841	77,54301	1,999824	0,002806	20,498717	43,899824	-0,001269
22	16,08,202с	69,603	76,18711	1,999839	0,002924	20,454094	43,899839	-0,001303

Рис. 3. Дополнительная колонка «Потеря массы, %».

После обработки полученных данных файл с обработанным результатом сохраняется в загрузочную папку программы. Далее осуществляется вход в программу. Центральный интерфейс программы показан на рис. 4.

На рис. 5 показан ввод файла с полученной дериватораммой испытуемого бетона в программу. На рис. 6 показан анализ полученных графиков и выбор пиковых значений.

После обозначения пиковых значений программой производится определение ближайшего аналога батона и возможного варианта и степени его температурного нагрева (рис. 7). Изменение класса бетона указывает на глубокие физико-химические и механические изменения в бетоне, характеризует степень их изменения, что позволяет оценить степень высокотемпературного воздействия на бетон.

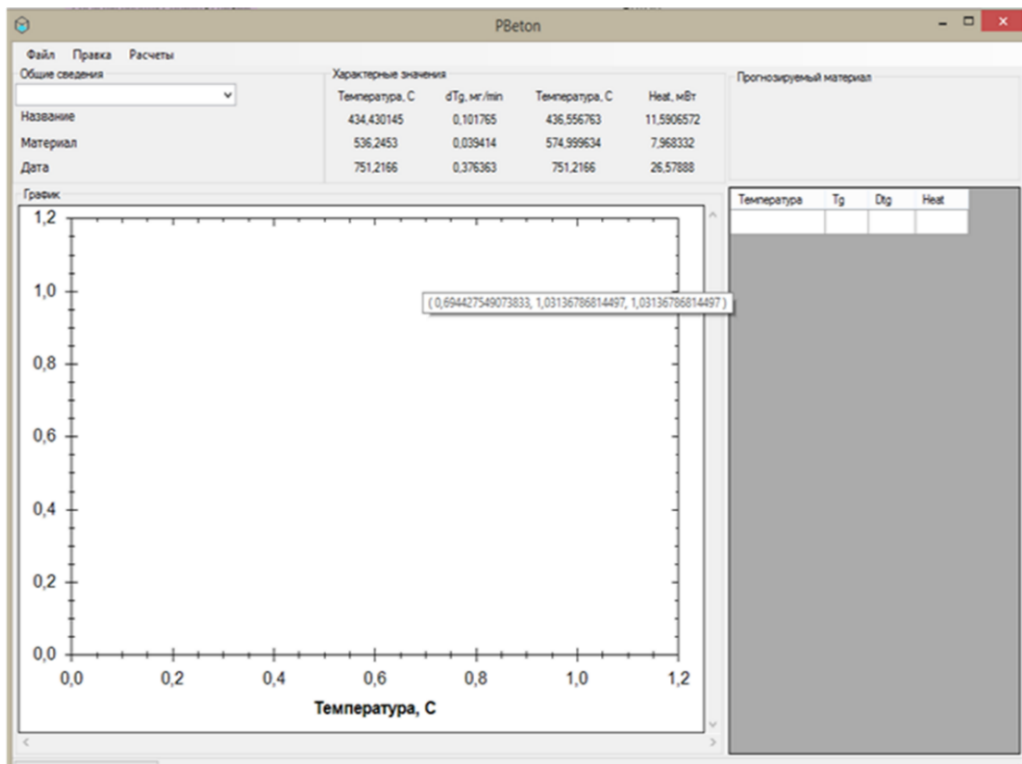


Рис. 4. Центральный интерфейс программы

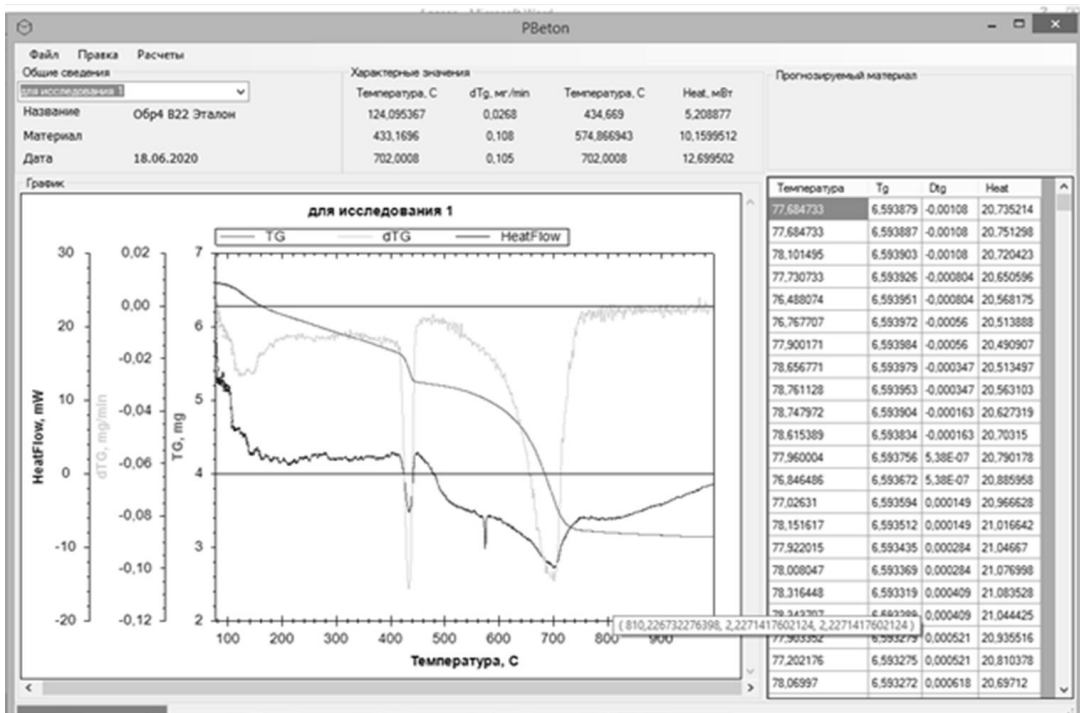


Рис. 5. Ввод файла в программу

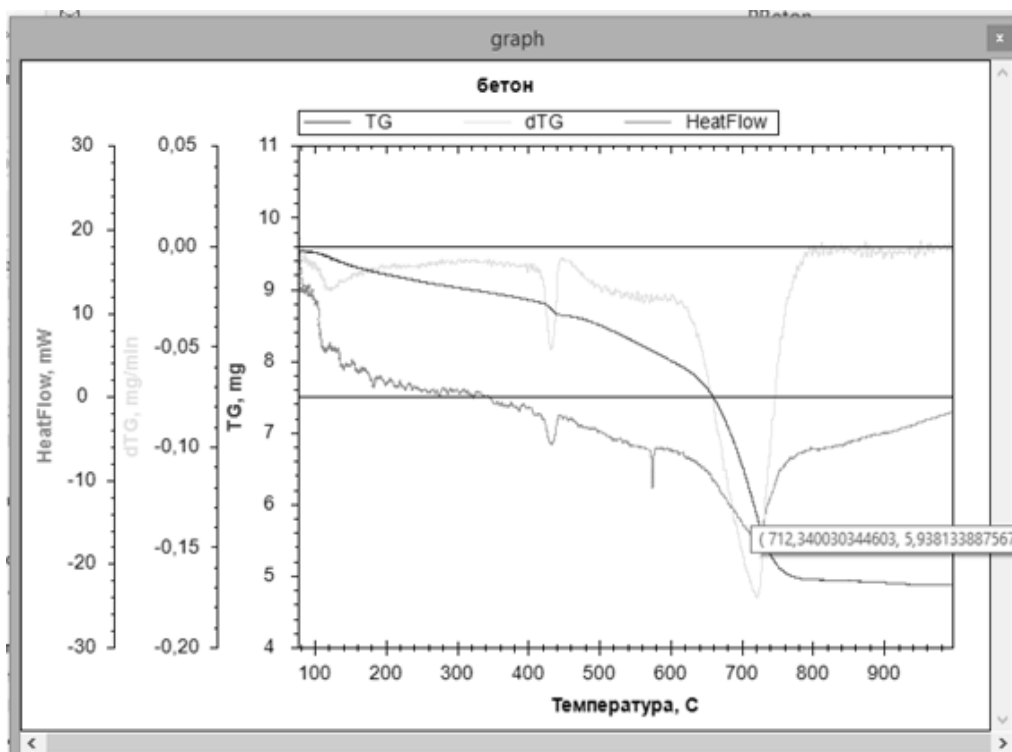


Рис. 6. Выбор пиковых значений.

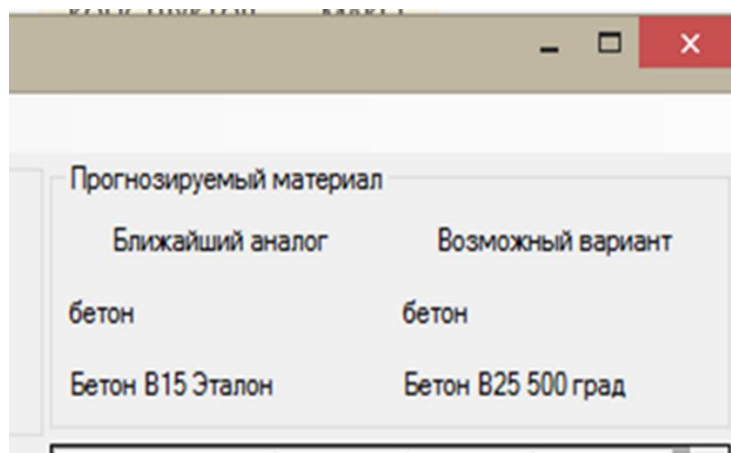


Рис. 7. Выбор ближайшего аналога класса бетона и вывод его на экран

Заключение

1. Предложена комплексная методика определения очага высокотемпературного нагрева и степени повреждения бетонных конструкций при пожаре с помощью методов тонкого анализа, которая внедрена в учебный процесс образовательной организации и практическую деятельность организаций непосредственно связанных с исследованием повреждений бетонных конструкций в результате термического воздействия.

2. Разработана база данных и программа, позволяющая с помощью дериватографического анализа бетонных композитов оценить степень изменения физико-механических характеристик конструкций.

1. Программное обеспечение позволяет анализировать исследуемые образцы на основе цементного связующего и оценить температуру нагрева исследуемого образца и марку используемого бетона.

3. Сравнительный анализ полученных параметров позволяют в дальнейшем

оценить место наибольшего термического повреждения (очага температурного нагрева). Простота интерфейса и получения результата значительно сокращают время получения конечного результата.

Работа выполнялась в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России №НИОКТР АААА-А17-117071240028-9 «Разработка методики исследова-

ования композитов строительных материалов при установлении очага пожара». Впервые с помощью методов тонкого анализа систематизирована зависимость изменения повреждения строительных бетонных конструкций от интенсивности термической нагрузки, что позволяет без повреждения строительной конструкции сделать вывод о возможности дальнейшей их эксплуатации.

Список литературы

1. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров. Санкт-Петербургский институт пожарной безопасности. МВД РФ. Санкт-Петербург. 1997. 562 с.
2. Теоретические основы исследования и анализа латентной преступности: монография. Под ред. С. М. Иншакова. М., ЮНИТИ-ДАНА. 2015. С. 231, 384, 478.
3. Применение методов термического анализа при исследовании цементного камня / Г. В. Плотникова, Л. В. Дашко, В. Ю. Ключников [и др.] // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. № 2 (65). 2013. С. 47–54.
4. Металлографический и морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с мест пожаров / А. Ю. Мокряк, З. И. Тверьянович, И. Д. Чешко [и др.]. М. ВНИИПО, 2008. 184 с.
5. Дашко Л. В., Ключников В. Ю. Экспертное исследование наиболее распространенных объектов пожарно-технической экспертизы с применением метода термического анализа: учебное пособие / М.: ЭКЦ МВД России, 2016. 128 с.
6. Плотникова Г. В., Дашко Л. В., Ключников В. Ю. Применение термоаналитических методов анализа при пожарно-технических исследованиях неорганических строительных материалов // Вестник Восточно-сибирского института МВД России, № 1 (56). 2011. С. 69–79.
7. Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Потемкина О. В. Перспективные методы обнаружения повреждений конструкций от скрытых очагов пожара // Интернет-журнал «Наукосведение». 2017. Т. 9, № 4. С. 1–8.
8. Методика комплексного исследования бетонов, подвергшихся термическому воздействию на пожаре / Д. В. Флегонтов, М. В. Акулова, О. В. Потемкина [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1. С. 36–43.
9. Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Пуганов М. В. Оценка степени повреждения бетонных конструкций в результате теплового воздействия // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 1. С. 44–57.

References

1. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov* [Fire Examination]. Sankt-Peterburgskij institut požarnoj bezopasnosti. MVD RF. Sankt-Peterburg, 1997, 562 p.
2. *Teoreticheskie osnovy issledovaniya i analiza latentnoj prestupnosti: monografiya* [Theoretical foundations for the study and analysis of latent crime: monograph]. Pod red. S. M. Inshakova., M., YUNITI-DANA, 2015, pp. 231, 384, 478.
3. *Primenenie metodov termicheskogo analiza pri issledovanii cementnogo kamnya* [Application of thermal analysis methods in the study of cement stone] / G. V Plotnikova., L. V. Dashko, V. Yu. Klyuchnikov [et al.]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii*, vol. 2 (65), 2013, pp. 47–54.
4. *Metallograficheskij i morfologicheskij atlas mikrostruktur ob"ektov, izyemaemyh s mest pozharov* [Metallographic and morphological atlas of microstructures of objects removed from fire sites] / A. Yu. Mokryak, Z. I. Tver'yanovich, I. D. Cheshko [et al.]. M. VNIPO, 2008, 184 p.
5. Dashko L. V., Klyuchnikov V. Yu. *Ekspertnoe issledovanie naibolee rasprostranennykh ob"ektov požarno-tekhniceskoy ekspertizy s primeneniem metoda termicheskogo analiza: uchebnoe posobie* [Expert study of the most common objects of fire-technical expertise using the method of thermal analysis: textbook]. M.: EKC MVD Rossii, 2016, 128 p.
6. Plotnikova G. V., Dashko L. V., Klyuchnikov V. Yu. *Primenenie termoanaliticheskikh metodov analiza pri požarno-tekhniceskikh issledovaniyah neorganicheskikh stroitel'nykh materialov* [Application of thermoanalytical methods of analysis in fire-technical studies of inorganic building materials]. *Vestnik Vostochno-sibirskogo instituta MVD Rossii*, vol. 1 (56), 2011, pp. 69–79.
7. Flegontov D. V., Akulova M. V., Potemkina O. V. *Perspektivnye metody obnaruzheniya povrezhdenij konstrukcij ot skrytyh ochagov požara* [Promising methods for detecting damage to structures from hidden fires]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2017, vol. 9, issue 4, pp. 1–8.

8. Metodika kompleksnogo issledovaniya betonov, podvergshihся termicheskomu vozdeystviyu na pozhare [Methodology for a comprehensive study of concrete subjected to thermal action in a fire] / D. V. Flegontov, M. V. Akulova, O. V. Potemkina [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2019. issue 1, pp.36–43.

9. Flegontov D. V., Akulova M. V., Puganov M. V. Otsenka stepeni povrezhdeniia betonnykh konstrutsii v rezul'tate teplovogo vozdeistviia [Assessment of the degree of damage to concrete structures as a result of thermal exposure]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2021, issue 1, pp. 44–57.

Акулова Марина Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
профессор канд. техн. наук.

E-mail: m_akulova@mail.ru

Akulova Marina 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

candidate of Technical Sciences.

E-mail: m_akulova@mail.ru

Флегонтов Денис Вячеславович

Заместитель начальника отдела – начальник ОД ОНДиПР (по городу Нягани и Октябрьскому району)
УНДиПР Главного управления.

E-mail: Den.flegontov@yandex.ru

Flegontov Denis Vyheslavovich

The deputy head of the department is the head of the OD ONDiPR (for the city of Nyagan and the Oktyabrsky district) of the UNDiPR of the Main Department.

E-mail: Den.flegontov@yandex.ru

Пуганов Михаил Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель канд. пед. наук.

E-mail: mvpuganov@yandex.ru

Puganov Mikhail Vladimirovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of Pedagogical Sciences.

E-mail: mvpuganov@yandex.ru

Ульева Светлана Николаевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Ul'eva Svetlana Nikolaevna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: jivotjagina@mail.ru

УДК 330.341

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАТОРОВ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГРУНТОВЫХ АЭРОДРОМОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. В. ГЛУХОВ¹, Е. Е. ОСТАПЧУК², В. В. САРАСЕКО², И. В. ТРЕУШКОВ²

¹ ООО «НПО «Стрим»,

Российская Федерация, г. Москва

² ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»,

Российская Федерация, г. Химки

E-mail: strim123592@mail.ru, e.ostapchuk@amchs.ru, v.saraseko@amchs.ru, i.treushkov@amchs.ru

В статье рассмотрен положительный опыт применения технологии холодного ресайклинга для строительства грунтовых аэродромов в Арктической зоне Российской Федерации (далее – АЗРФ). Применение модификаторов свойств грунтов и минеральных вяжущих в этой технологии является одним из перспективных и экономически обоснованных направлений развития инфраструктуры Арктики для нужд МЧС России.

Ключевые слова: Арктическая зона, аэродромы, ресайклинг, модификаторы свойств грунтов, прочность, морозостойкость.

APPLICATION OF SOIL PROPERTIES MODIFIERS AND MINERAL BINDERS FOR THE CONSTRUCTION OF UNPAVED AIRFIELDS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

A. V. GLUKHOV¹, E. E. OSTAPCHUK², V. V. SARASEKO², I. V. TREUSHKOV²

¹ NPO STREAM LLC,

Russian Federation, Moscow

² The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia,

Russian Federation, Khimki

E-mail: strim123592@mail.ru, e.ostapchuk@amchs.ru, v.saraseko@amchs.ru, i.treushkov@amchs.ru

The article discusses the positive experience of using cold recycling technology for the construction of unpaved airfields in the Arctic zone of the Russian Federation (Russian Arctic). The use of soil properties modifiers and mineral binders in this technology is one of the promising and economically sound directions for the development of Arctic infrastructure for the needs of the Russian Emergencies Ministry.

Key words: Arctic zone, airfields, recycling, modifiers of soil properties, strength, frost resistance.

Развитие инфраструктуры является одним из ключевых направлений государственной политики Российской Федерации в Арктической зоне Российской Федерации (далее – АЗРФ). Решение такой задачи возможно с помощью применения новых технологий и материалов, в том числе и для строительства грунтовых аэродромов¹.

В настоящее время, по ряду объективных и субъективных причин, практически отсутствует железнодорожное и автомобильное сообщение в этом регионе России. Оперативное реагирование на чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера становится возможным, в большинстве случаев, благодаря применению авиационного транспорта. МЧС России создает комплексную систему безопасности в Арктическом регионе, включающую 10 Комплексных арктических аварийно-спасательных центров, арктическую авиационную группировку и органы управления. Уже создано шесть центров, размещенных в населенных пунктах Мурманск, Архангельск, Воркута, Надым, Дудинка, Нарьян-Мар.

© Глухов А. В., Остапчук Е. Е., Сарасеко В. В., Треушков И. В., 2022

¹ Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45255> (дата обращения 13.08.2021)

Планируется к созданию еще четыре в Восточной Арктике.

Для развития авиасообщения в АЗРФ необходимо строительство грунтовых аэродромов и вертолетных площадок в зоне вечной мерзлоты. Такое строительство представляет собой сложную и дорогостоящую инженерную задачу. При проектировании сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов применяют один из следующих принципов использования грунтов в качестве естественных оснований:

I – грунты основания используют в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации;

II – допускают частичное или полное оттаивание грунтов в пределах сезонного оттаивающего слоя;

III – предусматривают предварительное оттаивание вечномерзлых грунтов с удалением или осушением переувлажненных слоев и улучшением строительных свойств деятельного слоя путем замены естественных грунтов крупнозернистыми песками, щебнем, ПГС и т.д.

Принципы I и II применяют при условии, когда годовой температурный баланс покрытия отрицателен². Практическая реализация принципа I проведена на о. Котельный архипелага Новосибирские острова. На острове, площадь которого составляет 23200 квадратных километров (рис. 1) в 2021 году была построена грунтовая взлётно-посадочная полоса аэродрома «Темп».



Рис.1. Расположение аэродрома «Темп» на интерактивной карте присутствия МЧС России в АЗРФ

При строительстве аэродрома использовалась технология «холодного» ресайклинга, которая представляет собой способ создания покрытий, при котором путем перемешивания местных грунтов с минеральным вяжущим (цементом ЦЕМ I 32,5) и модификаторами свойств грунтов (АКРОПОЛ ГС-М) в определенной пропорции, дальнейшего увлажнения и уплотнения получаемого слоя, создается покрытие, способное выполнять функции аэродромного полотна.

Направленное изменение свойств местных грунтов возможно модифицированием их поверхностно-активными веществами специального действия – различными стабилизаторами и добавками. В производстве строительных материалов под модифицирова-

нием понимают видоизменение физико-химической структуры и свойств материала путем введения в его состав различных элементов или добавления к нему определенных веществ. При этом добавляемое вещество называют модификатором, введение которого в малых количествах в состав материала вызывает изменение структуры и свойств последнего[1].

По данным С. Г. Фурсова, все стабилизаторы по составу и природе взаимодействия с грунтами объединены в три класса[2] (рис. 2):

² СП 25.13330.2020 Свод правил. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах



Рис. 2. Укрупненные группы модификаторов свойств грунтов

1) Ионные закрепители глинистых грунтов («Perma-Zyme», «LBS» – США, «АНТ» – Россия, «Дорзин» – Украина, «Roadbond» – ЮАР, «Consolid» – Швейцария, «RRP-235-Special», «Kinpropano» – Германия, «Статус» – Россия и др.), которые позволяют ликвидировать способность глинистых грунтов взаимодействовать с водой за счет нейтрализации сил поверхностного притяжения воды. Гидрофобная пленка из поверхностно-активных веществ не допускает молекулы воды в зоне контактов минеральных частиц грунта, и тем самым предохраняет грунт от размокания.

Изменения на уровне микроструктуры приводят не только к стабильному сохранению физико-механических свойств природного глинистого грунта, но и к их улучшению (повышается прочность, снижается набухание и т. д.).

Данные модификаторы нельзя рассматривать как минеральные или органические вяжущие вещества, создающие прочные кристаллизационные и коагуляционные связи в укрепленном грунте.

Рекомендуется применять их совместно с минеральным вяжущим веществом: цементом, известью, золой уноса и др. В этом случае модификатор способствует повышению физико-механических характеристик грунта, а также снижению расхода минерального вяжущего [2].

2) Полимерные эмульсии («M10+50» – США, «Nanostab» – Германия), эффект модифицирования которых обусловлен распадом эмульсии (испарением воды) и отверждением полимера. Время распада эмульсии и отверждения полимера зависит от температуры и влажности воздуха, а также от содержания тонкодисперсных частиц грунта, активно отбирающих воду из эмульсии.

3) Модификаторы, основанные на ферментах, биологические и наноструктурированные вещества.

Стабилизаторы грунтов характеризуются как многокомпонентные системы, которые имеют, преимущественно, кислую среду, обладают свойствами поверхностно-активных веществ. В состав стабилизаторов, как правило, входят суперпластификаторы, гидрофобизаторы, сложные органические соединения, которые включают сложноэфирные группы и ионогенные комплексы. Стабилизаторы рекомендуются к применению в виде разбавленного водяного раствора. Вода активизируется за счет ионизации, после того, как стабилизатор растворится в ней. На состояние глинистых и коллоидных частиц грунта раствор стабилизатора влияет активнее всего. Он изменяет их заряд за счет энергичного обмена электрическими зарядами между ионизированной водой и частицами почвы. После обмена зарядами с ионизированной водой, между грунтовыми частицами нарушаются естественные связи с капиллярной и пленочной водой. Вода легко отделяется от частиц грунта, тем самым, создавая благоприятные условия для уплотнения грунтов.

Технологии с применением модификаторов свойств грунтов (регенерация и ресайклинг дорожной одежды) применяются в дорожном строительстве (рис. 3)³.

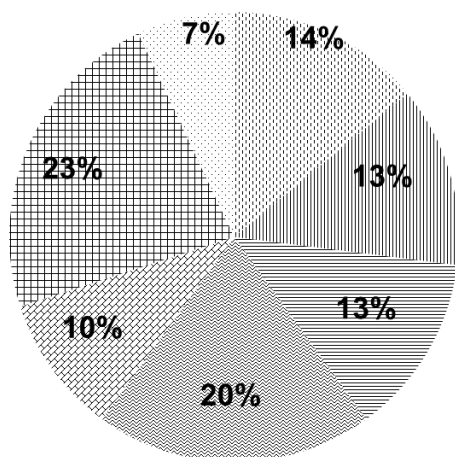
Основные существующие марки стабилизаторов:

1. АНТ – ООО «АНТ-Инжиниринг», Волгоградская обл.
2. NANOSTAB – ООО «Крис-Дор».

³ Каталог эффективных технологий, новых материалов и современного оборудования дорожного хозяйства за 2017 г. (включая информацию об их применении органами управления дорожным хозяйством) / Отв. ред. А. А. Домницкий // Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта Российской Федерации. М.: ФАУ «РОСДОРНИИ», 2017. 399 с.

3. NOVOCRETE – ООО «НовоКрете Системс Ист».
4. Акционерное общество «ОргСинтез-Ресурс».
5. Дорзин.
6. POLYBOND – Super Roads Technologies S A, Швейцария.
7. «ПГСЖ-1», «ПГСБ-2», «ПГСП-3» – ООО «МД Системы».
8. «Чимстон» – ООО «Региональный центр инжиниринга».
9. Статус 3 – ООО «Статус-Грунт», Ногинск.
10. «ПАРАГОН LBS» «ПАРАГОН M10+50» – Paragon Management, Канада, ООО «ПАРАГОН ГРУПП».
11. Полистаб – ООО «Донские дороги», Воронеж.

12. Акропол – НПО «Стрим», Москва.
 13. Стабилар Е95, ООО «Новые дороги, Воронеж».
 14. ДорЦем ДС-1 – «НПО МГТ».
- С целью анализа материалов – модификаторов свойств грунтов сформированы критерии, по которым проводится сравнение:
1. Области применения – типы грунтов или их смесей, с которыми предусмотрено взаимодействие модификаторов свойств грунтов (табл. 1);
 2. Заявленные прочностные характеристики – пределы прочности на сжатие, пределы прочности на изгиб, модули деформации (табл. 2);
 3. Заявленный расход – нормы расхода модификатора, катализатора и воды (табл. 3).



- ⊗ Слои покрытия автомобильных дорог
- ▨ Покрывтия из щебеночно-мастичных смесей
- ≡ Добавки к асфальтобетонам
- ⊞ Регенерация и ресайклинг
- ⊗ Устройства и ремонт бетонных покрытий
- ⊞ Геосинтетика в слоях дорожной одежды
- ⊗ Машины и оборудование

Рис. 3. Технологии устройства дорожной одежды

Таблица 1. Типы грунтов или их смесей, с которыми предусмотрено взаимодействие модификаторов свойств грунтов

Марка	Производитель / поставщик	Требования к грунтам
1	2	3
АНТ (двухкомпонентный: жидкий стабилизатор +вяжущее)	ООО «АНТ-Инжиниринг», Волгоградская обл.	Естественные, осадочные, нецементированные, крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты, песчано-гравийные, песчано-щебёночные, песчано-гравийно-щебёночные смеси и пески
ПОЛИСТАБ	ООО «Донские дороги», Воронеж	Песок, суглинок, супесь, глины с ограничениями по числу пластичности не более 12
NANOSTAB	ООО «Крис-Дор»	природные дисперсные: супесчаные, песчаные, крупнообломочные; техногенные (в том числе асфальтогранулят). Суглинки и глины с числом пластичности не более 22

Марка	Производитель / поставщик	Требования к грунтам
1	2	3
NOVOCRETE	ООО «НовоКрете Системс Ист»	Природные дисперсные: супесчаные, песчаные, крупнообломочные; - техногенные (в том числе асфальтогранулят). суглинки и глины с числом пластичности не более 22
Материал вяжущий на основе полиуретана (двухкомпонентная полиуретановая система, полиуретан, вяжущий материал, вяжущее)	Акционерное общество «ОргСинтезРесурс»	Щебень различных фракций
Дорзин (Roadzyme)	ООО «ДорТех Инвест»	Щебень различных фракций, Песок, суглинок, супесь, глины с ограничениями по числу пластичности не более 22
POLYBOND	Super Roads Technologies S A Швейцария	- природные дисперсные: супесчаные, песчаные, крупнообломочные; - техногенные (в том числе асфальтогранулят). суглинки и глины с числом пластичности не более 22
«ПГСЭ-4»	Consolid Group, Швейцария	Песок пылеватый, супесь песчаная, суглинок легкий пылеватый
«Чимстон»	ООО «Региональный центр инжинринга»	любые грунты с числом пластичности до 17
Статус-3	ООО «Статус-Грунт», Ногинск	Глина, суглинок, супесь, песок
ПАРАГОН M10+50, LBS	Paragon Management, Канада	Гравий, галька, песок, супесь, глина, суглинок
Полистаб	ООО «Донские дороги», Воронеж	Песок пылеватый, супесь песчаная, суглинок легкий пылеватый
АКРОПОЛ	НПО «СТРИМ», Москва	все виды грунтов, включая тяжелые глины
Стабилар 95	ООО «Новые дороги», Воронеж	Щебень, гравий, песок, суглинок, супесь, глина
ДорЦем ДС-1	«НПО МГТ» Россия	Песок, супесь, суглинок, глина, ПГС, содержание органических примесей до 15 %

Таблица 2. Заявленные прочностные характеристики грунтов, усиленных модификаторами

Марка модификатора	Предел прочности на сжатие, МПа, при 20°С, не менее:	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа, не менее:	Модуль упругости, МПа, при 20°С, не менее:
1	2	3	4
ANT	1,5-4	0,7-1,2	400-800
NANOSTAB	-	1,2-5,2	200-650
NOVOCRETE	-	1,0-5,0	300-550
Материал вяжущий на основе полиуретана (двухкомпонентная полиуретановая система, полиуретан, вяжущий материал, вяжущее)	-	1,0-0,99	250-420

Марка модификатора	Предел прочности на сжатие, МПа, при 20°С, не менее:	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа, не менее:	Модуль упругости, МПа, при 20°С, не менее:
1	2	3	4
Дорзин (Roadzyme)	1,0-7,5	0,25-1,5	180-1000
POLYBOND	1,0-10,0	0,2-2,0	600
«ПГСЭ-4»	0,5-1,0	-	200-500
«Чимстон»	1-10	0,2-2,0	-
Статус-3	1-10	0,25-200	450
ПАРАГОН М10+50, LBS	-	-	180
Полистаб	1,0-10,0	0,2-2,0	600
АКРОПОЛ	28,1	4,9	1000
Стабилар 95	4,0	2,0	300
ДорЦем ДС-1	2-10	-	350-800

Таблица 3. Нормы расхода модификатора, катализаторов и воды при устройстве покрытий из грунтов, усиленных модификаторами

Марка модификатора	Норма расхода модификатора, %	Нормы расхода катализаторов, %	Нормы расхода воды, %
1	2	3	4
ANT	0,0075	1-5	до 10
NANOSTAB	0,4-0,7	1-5	до 15
NOVOCRETE	0,1-0,5	цемент, в зависимости от условий: 1-7	до 15
Материал вяжущий на основе полиуретана	2 кг/кв.м	-	-
Дорзин (Roadzyme)	0,003	4	до 13
POLYBOND	0,00169-0,00195	2-3	до 10
«ПГСЭ-4»	0,003-0,01	-	-
«Чимстон»	0,007	1-7	до 13
Статус-3	0,0012	5-7	до 10
ПАРАГОН М10+50, LBS	0,01-0,03	-	до 25
Полистаб	0,006	1-9	до 13
АКРОПОЛ	0,002- 0,0025	до7	до12
Стабилар 95	0,01	1-7	до 13
ДорЦем ДС-1	0,001	7	до 13

В рамках соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Академией гражданской защиты МЧС России и ООО Научно-производственным объединением «СТРИМ» проведен обмен информацией в области новых научно-технических разработок. Объединением предоставлен технический отчет на выполнение работ по договору № 866/2020-К-7-23 от 12 мая 2020 г. по объекту: «Строительство аэродрома «Темп», остров Котельный, архипелага Новосибирские острова».

На рис. 4–7 представлены этапы проведения лабораторных испытаний.

Результаты испытаний по укреплению грунта острова Котельный с применением стабилизатора АКРОПОЛ ГС-М следующие:

грунт «Аэродромный» укрепленный портландцементом и модификатором АКРОПОЛ ГС-М, по прочности на сжатие превышает марку В35;

при введении модификатора АКРОПОЛ ГС-М наблюдается улучшение характеристик уже после одного цикла водонасыщения образцов. Прочность на сжатие у образцов, модифицированных составом АКРОПОЛ ГС-М превосходит прочность контрольного образца на 8,7 %. В дальнейшем при водонасыщении укрепленного грунта с введенным модификатором, разница в прочностных характеристиках может составить до 50 %.



Рис. 4. Инертные материалы для проведения опыта



Рис. 5. Изготовление образцов в лабораторных условиях



Рис. 6. Испытания для определения прочности материалов при сжатии и водопоглощения образцов



Рис. 7. Проведение испытаний на морозостойкость

Образцы из грунта, цемента и модификатора АКРОПОЛ ГС-М выдержали 8 циклов переменного замораживания и оттаивания, что соответствует марке по морозостойкости F1 300. Однако, после 5 циклов испытаний, уменьшение массы составило 27,8 %, а снижение скорости ультразвука – 76,3 %, что превышает значение, допустимое ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».

Результаты лабораторных испытаний и анализ опыта проведения работ по строительству грунтового аэродрома приводят к следующим выводам:

1. Применение АКРОПОЛ ГС-М позволяет снизить влажность верхней части основания грунта полотна, по сравнению с традиционными конструкциями щебеночных оснований на дренирующем песчаном слое.

2. Общая толщина аэродромных покрытий, включая взлётно-посадочную полосу, рулежные дорожки, места стоянки для обслуживания и хранения воздушных судов, места выполнения сервисных работ и подготовки судов к полетам, может быть снижена до 50 %.

3. Уменьшение силового воздействия на подстилающий грунт за счет более значительного распределения нагрузки по площади снижает вероятность появления в нем местных пластических деформаций.

4. Использование технологии «холодного» ресайклинга на переувлажненных грунтах (влажность выше оптимальной на 15 %) позволяет строить взлётно-посадочные полосы в местах с частичным, или (иногда) полным отсутствием возможности поверхностного водоотвода.

Представляется возможным оценить экономическую эффективность применения технологии для строительства объектов инфраструктуры в АЗРФ:

1. Во время строительства снижается потребность в автотранспорте в 1,5–3 раза, затраты труда – в 1,2–2 раза, себестоимость квадратного метра покрытия, выполненного по технологии «холодного» ресайклинга в 5–8 раз ниже выполненных по так называемым обычным, традиционным способам.

2. При соблюдении требований к ровности аэродромных покрытий существенно возрастает безопасность (безаварийность) полетов, что приводит к значительному уменьшению себестоимости авиаперевозок.

Таким образом, результаты лабораторных испытаний и опыт применения технологии «холодного» ресайклинга для строительства грунтовых аэродромов показывают обоснованную в том числе и экономически возможность развития инфраструктуры в АЗРФ для нужд МЧС России.

Список литературы

1. Прокопец В. С. Повышение эффективности дорожно-строительных материалов механоактивационным модифицированием исходного сырья: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Омск, 2005. 302 с.
2. Фурсов С. Г. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами // Автомобильные дороги и мосты, 2007, вып. 3. С. 17–21.

References

1. Prokopets V. S. Povysheniye effektivnosti dorozhno-stroitel'nykh materialov mekhanoaktivatsionnym modifitsirovaniyem iskhodnogo syr'ya. Diss. d-ra tekhn. nauk [Improving the efficiency of road-building materials by mechanical activation modification of raw materials. Dr. tech. sci. dis.]. Omsk, 2005. 302 p.
2. Fursov S. G. Stroitel'stvo konstruktivnykh sloyev dorozhnykh odezhd iz gruntov, ukreplennykh vyazhushchimi materialami [Construction of structural layers of road coverings from soils reinforced with binding materials]. *Avtomobil'nyye dorogi i mosty*, 2007, issue 3, pp. 17–21.

Глухов Андрей Владимирович
 ООО «НПО «Стрим»,
 Российская Федерация, г. Москва
 Генеральный директор
 E-mail: strim123592@mail.ru
 Glukhov Andrey Vladimirovich
 NPO STREAM LLC,
 Russian Federation, Moscow
 E-mail: strim123592@mail.ru

Остапчук Елизавета Евгеньевна

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (организации научно-исследовательской и конгрессно-выставочной деятельности) научно-исследовательского центра

E-mail: e.ostapchuk@amchs.ru

Ostapchuk Elizaveta Evgenievna

The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Khimki

E-mail: e.ostapchuk@amchs.ru

Сарасеко Владислав Владимирович

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Научный сотрудник научно-исследовательского отдела (организации научно-исследовательской и конгрессно-выставочной деятельности) научно-исследовательского центра

E-mail: v.saraseko@amchs.ru

Saraseko Vladislav Vladimirovich

The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Khimki

E-mail: v.saraseko@amchs.ru

Треушков Игорь Владимирович

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России,
Российская Федерация, г. Химки

Научный сотрудник научно-исследовательского отдела (организации подготовки научно-педагогических кадров) научно-исследовательского центра

E-mail: i.treushkov@amchs.ru

Treushkov Igor Vladimirovich

The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Khimki

E-mail: i.treushkov@amchs.ru

УДК 666.97:66.02:620.193

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ, С УЧЕТОМ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, И. В. КРАСИЛЬНИКОВ^{2,3}, И. А. КРАСИЛЬНИКОВА⁴,
У. А. НОВИКОВА⁵, К. Б. СТРОКИН⁵**

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

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

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва,

⁴ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир,

⁵ Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru,
uliana.a.novikova@gmail.com, strokin07@rambler.ru

В работе установлена проблема моделирования сложных физико-химических процессов, происходящих в капиллярно-пористой структуре бетона при эксплуатации в среде, вызывающей коррозию бетона, особенно с учетом циклически изменяющихся параметров среды эксплуатации. Описаны процессы, определяющие интенсивность массопереноса целевого компонента. Показаны принципиальная схема работы градирни и конструктивное решение двенадцатигранной башенной градирни. Представлены расчеты полей концентраций целевого компонента по толщине стенки водосборного бассейна градирни в изотермических условиях, по модели коррозии бетона первого вида, и по модели, учитывающей неизоотермические условия эксплуатации градирни.

Ключевые слова: долговечность, бетон, массоперенос, выщелачивание, температура, цементный бетон, градирня.

FORECASTING THE DURABILITY OF A REINFORCED CONCRETE TOWER COOLING TOWER, TAKING INTO ACCOUNT CYCLICALLY CHANGING PARAMETERS OF THE OPERATING ENVIRONMENT

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, I. V. KRASILNIKOV^{2,3}, I. A. KRASILNIKOVA⁴,
U. A. NOVIKOVA⁵, K. B. STROKIN⁵**

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

² Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo,

³ Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow,

⁴ Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir,

⁵ Sakhalin State University,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, irinanebukina@rambler.ru,
uliana.a.novikova@gmail.com, strokin07@rambler.ru

The paper establishes the problem of modeling complex physico-chemical processes occurring in the capillary-porous structure of concrete during operation in an environment that causes concrete corrosion, especially taking into account the cyclically changing parameters of the operating environment. The processes determining the intensity of mass transfer of the target component are described. The schematic diagram of the cooling tower operation and the design solution of a twelve-sided tower cooling tower are shown. Calculations of the concentration fields of the target component by the wall thickness of the cooling tower catchment basin under isothermal conditions are presented, according to the model of concrete corrosion of the first type, and according to the model taking into account the non-isothermal operating conditions of the cooling tower.

Key words: durability, concrete, mass transfer, leaching, temperature, cement concrete, cooling tower.

Технологические решения современных промышленных предприятий и объектов энергетики, для охлаждения воды, зачастую применяют башенные градирни. Такое решение позволяет охлаждать воду атмосферным воздухом [1]. Систематизация проектно-технологических решений градирен показывает, что в большинстве случаев температура поступающей воды составляет 40–45°C, а выходящей 25–28°C [1]. Принципиальная схема охлаждения воды в вытяжной башенной градирне представлена на рис.1.

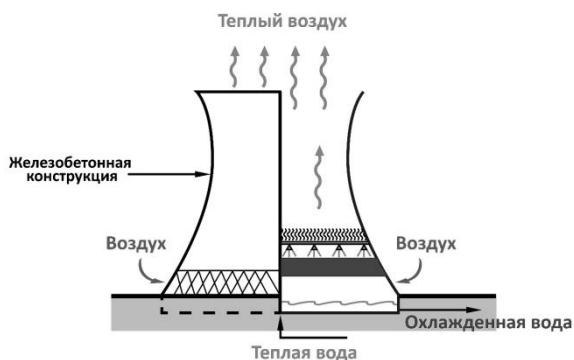


Рис. 1. Принципиальная схема работы вытяжной башенной градирни

В значительной степени, затраты на охлаждение воды в общем технологическом процессе, при воздействии атмосферного воздуха в вытяжной башенной градирне определяются стоимостью строительных работ непосредственного ее возведения, а кроме этого, стоимостью эксплуатации, ремонта и утилизации. В таком случае уменьшение затрат на охлаждение воды в общем технологическом процессе может быть достигнуто за счет увеличения проектного и фактического срока службы градирни в целом и отдельных ее конструктивных элементов.

Монолитные и сборные железобетонные конструктивные элементы испарительных вытяжных башенных градирен на территории РФ

следует проектировать на основании СП 340.1325800.2017 «Конструкции железобетонные и бетонные градирен. Правила проектирования». Данный свод правил требует учитывать при проектировании бетонных и железобетонных конструкций градирен специфичность их эксплуатации. Следует принимать во внимание то, что поверхности конструкций и технологического оборудования внутри градирни орошаются оборотной водой при температуре 10...70°C или конденсатом, так как воздух насыщен влагой. Последующее замораживание водонасыщенного бетона провоцирует появление дополнительных нормальных и касательных напряжений. На протяжении всего периода эксплуатации конструкции подвержены циклическим колебаниям «увлажнение – высушивание», «замораживание – оттаивание».

Увеличение долговечности бетонных и железобетонных конструкций, в том числе и конструкций градирен, достигается ужесточением правил проектирования, повышением требованиями к характеристикам материалов, к учету реальных условий работы строительных конструкций. Очевидна естественная связь между качеством сооружения и его сроком службы [2, 3].

К бетону, применяемому при устройстве сборных и монолитных железобетонных конструкций градирен, предъявляются повышенные требования. СП 340.1325800.2017 устанавливает минимальные марки по морозостойкости от F200, по водонепроницаемости W8, по прочности B30. При этом нормативный срок службы таких сооружений составляет 30 лет.

Жизненный цикл объектов строительства определяется периодом поддержания запроектированных механических, физических и химических свойств, обеспечивающих безотказность работы строительных конструкций [4, 5].

В аспекте прогнозирования долговечности конструкции железобетонных башенных градирен, по нашему мнению, можно разделить на условные группы:

- надземные конструкции градирни, подвергающиеся постоянному воздействию пресной воды, с низким содержанием в ней других веществ (стенка и плита водосборного бассейна, каркас водоохладительного устройства, фундаменты технологического оборудования);

- конструкции, расположенные в грунте (фундаменты, подпорные стены, конструкции дренажной системы) подвергаются воздействию грунтов и подземных вод;

- железобетонные конструкции вытяжной башни градирни подвержены воздействию конденсационной влаги и водонасыщенной газовой среды, содержащей аэрозоли серной кислоты или хлора, а кроме этого, снаружи здания периодическому действию осадков;

- второстепенные конструктивные элементы, предназначение которых - защита от воздействия воды основных конструкций (отмостка).

Опыт эксплуатации градирен показывает, что первые дефекты в градирне появляются в стенках и плите водосборного бассейна [1]. Данное обстоятельство связано с тем, что в водосборном бассейне постоянно присутствует вода, провоцирующая жидкостную коррозию бетона по механизму первого вида. Катализатором процесса жидкостной коррозии бетона водосборного бассейна градирен является движущийся поток оборотной воды.

Диффузионные процессы провоцируемые жидкостной коррозией бетона по механизму первого вида хорошо изучены нашей научной школой. Проведен ряд экспериментальных исследований, которые позволили установить и обобщить закономерности статистики, кинетики и динамики массообменных процессов, провоцирующих развитие коррозии бетона. По результатам лабораторных экспериментов определены массообменные характеристики различных видов бетонов, характеризующих их коррозионную стойкость [6-9].

Полученные экспериментальные данные легли в основу математических моделей долговечности бетонных и железобетонных конструкций, основанных на прогнозировании изменения содержания целевого компонента в результате нестационарного массопереноса. Результаты теоретических изысканий массообменных процессов, протекающих в капиллярно-пористой структуре бетона при жидкостной коррозии первого вида, представлены в работах [8-11].

Многолетние исследования показывают, что сохранение прочной структуры бетона и его механических характеристик обеспечивается наличием насыщенного раствора гидрок-

сида кальция в порах бетона. Все высокоосновные минералы цементного камня существуют в растворах определенных концентраций гидроксида кальция. При снижении содержания гидроксида кальция ниже определённого значения начинается гидролиз высокоосновных соединений цементного камня [11-13].

Интенсивность массообменных процессов в структуре бетона конструкций водосборного бассейна градирни, а, следовательно, и долговечность, определяется следующими факторами:

- постоянным контактом внутренней плоскости стенок и дна бассейна с оборотной водой;

- интенсивным течением оборотной воды в водосборном бассейне;

- внутренней диффузией целевого компонента;

- внешней массоотдачей целевого компонента в оборотную воду;

- неизотермичностью внешней плоскости стенок (температурные изменения в течение года).

Разработанные математические модели массообменных процессов, протекающих в капиллярно-пористой структуре бетона при жидкостной коррозии первого вида, описанные в работах [8-11], применены нами при определении долговечности стенки и плиты водосборного бассейна вытяжной башенной градирни площадью орошения 1600 м.кв. (см. рис. 2 и 3).

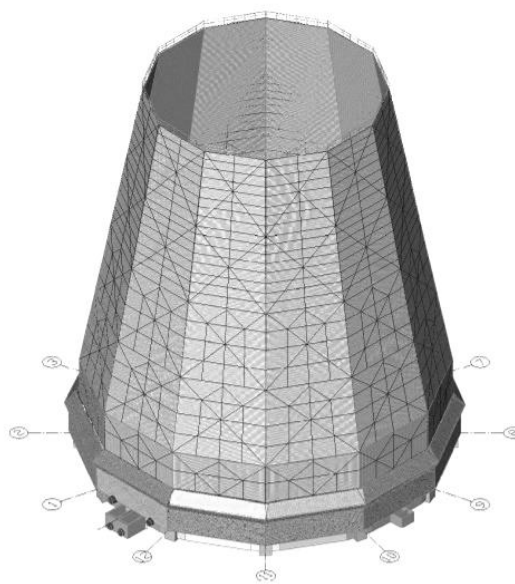


Рис. 2. Двенадцатигранная башенная градирня площадью орошения 1600 м²

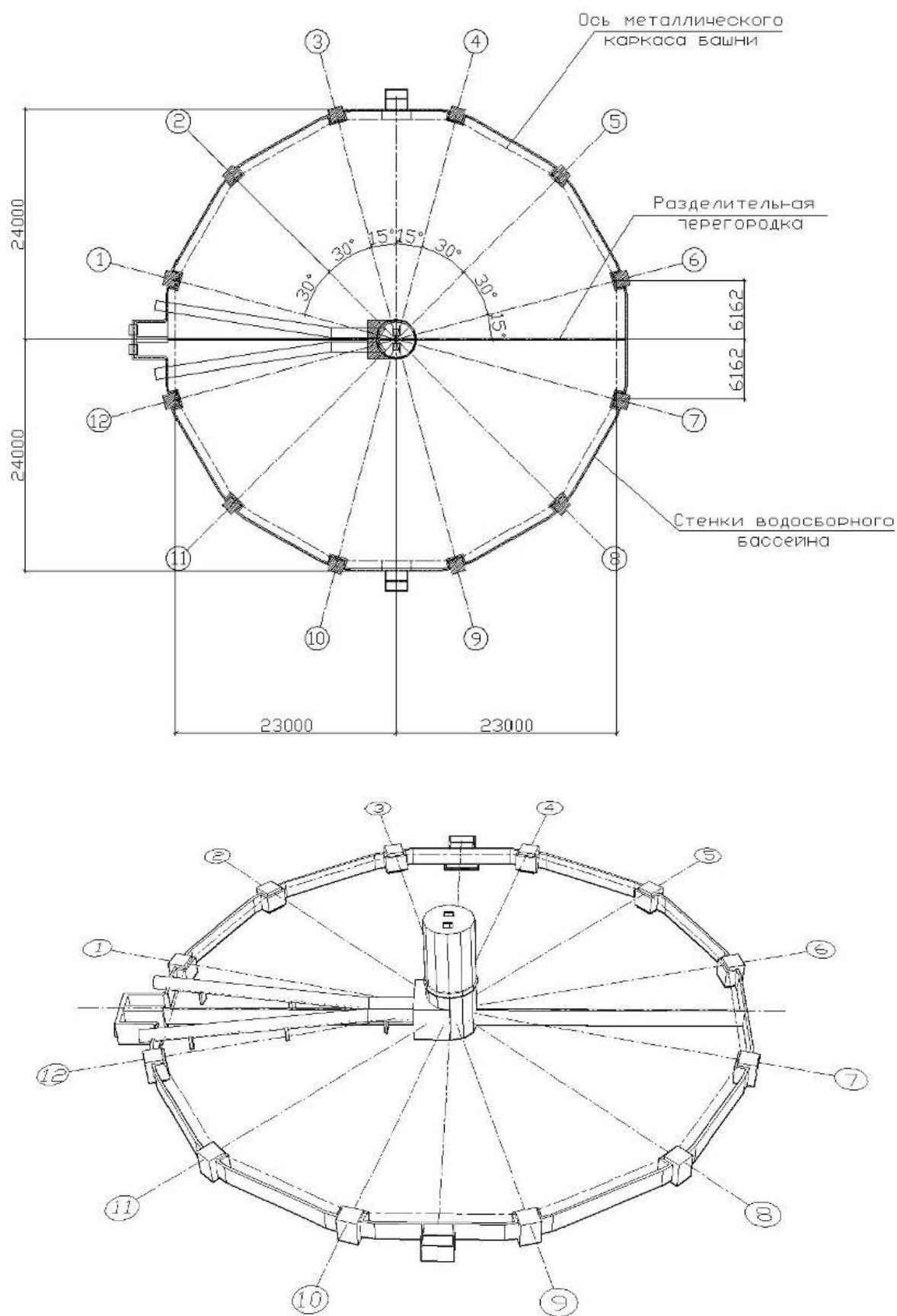


Рис. 3. План водосборного бассейна двенадцатигранной башенной градирни

Стенка и днище водосборного бассейна градирни изготовлены из монолитного железобетона. В соответствии с проектом и требованиями СП 340.1325800.2017 для изготовления принят бетон класса по прочности В25, по водонепроницаемости W8, армированный стальной арматурой класса А500С. Толщина стенки и днища водосборного бассейна градирни – 500 мм.

С учетом того, что градирни запроектированы по прочности с низким коэффициентом использования, нами было принято, что критичным для бетона конструкций будет являться снижение концентрации гидроксида кальция в порах бетона на 30 %, что приведет к снижению прочности при сжатии на 65 %, а, кроме этого спровоцирует начало разложения основного минерала цементного камня – трёхкальциевого силиката. Прогнозный расчет изменения содержания гидроксида кальция в порах бетона проводился как для модели нестационарного неизоэтермического массопереноса с циклически изменяющейся температурой наружного воздуха.

При моделировании массопереноса гидроксида кальция в бетоне стенок и днища водосборного бассейна градирни, вызванного контактом с оборотной водой температурой 30°C, с учетом неизоэтермичности, так как параметры процесса массопереноса существенно изменяются при различных температурах [15,16], весь процесс разделялся на микропроцессы. Временной шаг составлял – 1 месяц.

При расчете стенку условно разделили по толщине на 5 концентрационных слоев: толщиной 25, 50, 75, 150 и 200 мм, в пределах которых свойства бетона были постоянными, но различными между слоями. Расчет выполнялся методом «микропроцессов» для изменяющихся среднемесячных температур наружной среды, а, следовательно, изменяющегося температурного поля по толщине конструкции с уточнением коэффициентов массопереноса на каждом микропроцессе.

Полученное нами экспериментальное эмпирическое выражение коэффициента массопроводности в зависимости от концентрации гидроксида кальция и температуры, показывает, что с увеличением температуры значения коэффициента массопроводности уменьшаются, а значит внутренняя диффузия гидроксида кальция в бетоне будет интенсивнее при температуре 0°C [15], по сравнению с температурой в 60°C. Поэтому, для анализа влияния температурных полей по толщине конструкции на массообменные процессы и долговечность конструкций градирни были выполнены расчеты в изотермических и неизоэтермических условиях. Результаты расчетов полей концентраций гидроксида кальция при нестационарном массопереносе по толщине стенки через 5, 10, 15, 25 и 30 лет эксплуатации показаны на рис. 4 и 5.

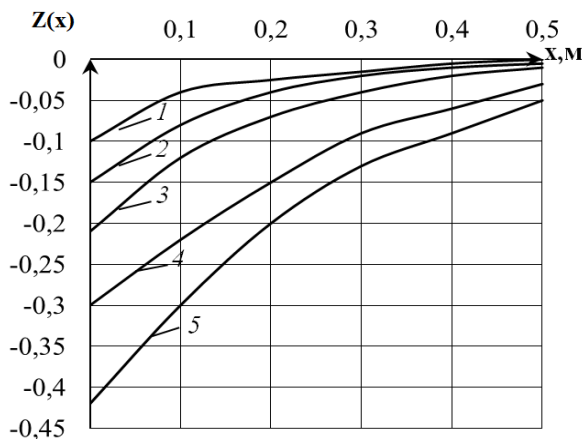


Рис. 4. Изменение безразмерных концентраций $Z(x)$ гидроксида кальция в порах бетона стенки водосборного бассейна градирни через 1–5, 2–10, 3–15, 4–25 и 5–30 лет эксплуатации (изотермический массоперенос при температуре +10°C)

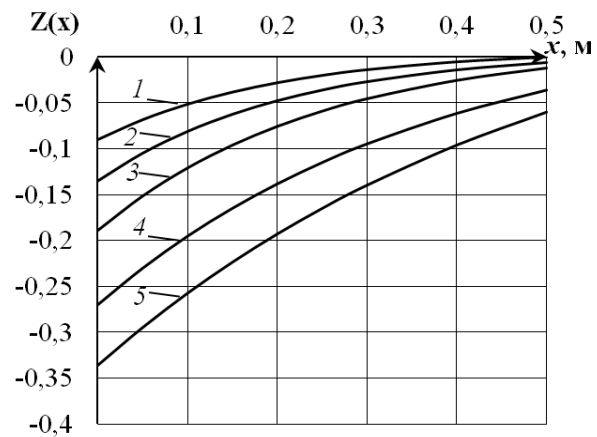


Рис. 5. Изменение безразмерных концентраций $Z(x)$ гидроксида кальция в порах бетона стенки водосборного бассейна градирни через 1–5, 2–10, 3–15, 4–25 и 5–30 лет эксплуатации (неизоэтермический массоперенос, с ежемесячно изменяющимся температурным полем)

Выполненные расчеты полей концентраций гидроксида кальция в порах бетона по толщине стенки и дна водосборного бассейна градирни показывают, что при расчете изотермического массопереноса, при равномерной постоянной температуре $+10^{\circ}\text{C}$, уменьшение концентрации целового компонента происходит интенсивнее, чем при расчете в неизотермических условиях эксплуатации, с ежемесячно изменяющимся температурным полем по толщине конструкции. При этом можно заметить, что в каждом расчете, через нормативный срок эксплуатации в 30 лет, концентрация гидроксида кальция в порах бетона на толщине 100 мм (при изотермическом расчете) и 40 мм (при неизотермическом расчете) от поверхности контакта с оборотной водой снизилась больше чем на 30 %, что приведет к значительному снижению механических свойств бетона.

Как уже отмечалось ранее, стоимость технологического охлаждения оборотной воды, по описанной схеме в значительной степени определяется стоимостью строительных и ремонтных работ, включающих в себя, помимо заработной платы рабочих, стоимость материалов, конструкций, оборудования и эксплуатации машин и механизмов. СП 340.1325800.2017 требует применять для градирен бетон повышенной водонепроницаемости (W8 и более), что значительно удорожает строительство градирни. Разработанные нами модели изотермического нестационарного массопереноса позволяют изменять характеристики бетона в разных концентрационных слоях. Данный факт позволяет запроектировать и рассчитать долговечность конструкции стенки и дна водосборного бассейна с неоднородными свойствами бетона по толщине. В целях достижения экономического эффекта, было предложено изготавливать основную часть стенки и дна из бетона с маркой по водонепроницаемости (W4), а защитный слой, контактирующий с оборотной водой, из бетона W10. При предложенном соотношении марок по водонепроницаемости выполнен расчет неизотермического массопереноса (рис. 6). Анализ показывает эффективность применения бетона с маркой по водонепроницаемости W10 только в защитном слое бетона. Экономический эффект оценен по рассчитанной сметной стоимости строительно-монтажных работ на строительство двенадцатигранной вытяжной башенной градирни площадью орошения 1600 м.кв. в ценах 4 квартала 2021 года на 468 000 рублей ниже, чем без внедрения предложенных выше рекомендаций.

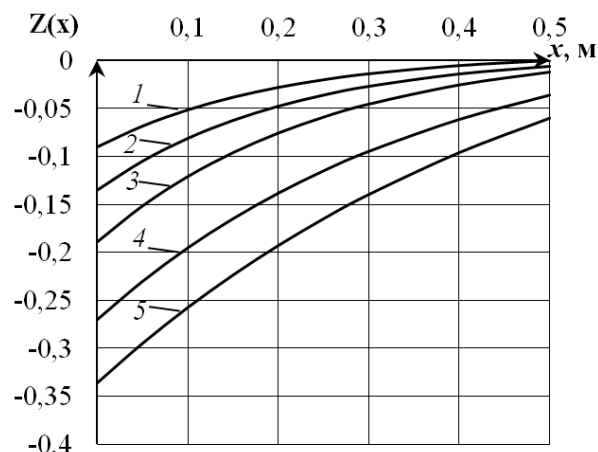


Рис. 6. Изменение безразмерных концентраций $Z(x)$ гидроксида кальция в порах бетона стенки водосборного бассейна градирни через 1–5, 2–10, 3–15, 4–25 и 5–30 лет эксплуатации с бетоном защитного слоя повышенной водонепроницаемости (неизотермический массоперенос, с ежемесячно изменяющимся температурным полем)

Выводы

1. Бетонные и железобетонные конструкции промышленных градирен, по особенностям воздействия на них внешней агрессивной окружающей среды, можно разделить на 4 группы. Опыт эксплуатации показывает, что наиболее ранние дефекты проявляются у конструктивных элементов, находящихся в постоянном контакте с оборотной водой (стенка и плита водосборного бассейна, каркас водоохлаждающего устройства, фундаменты технологического оборудования).

2. Проведенные расчеты показывают, что учет неизотермичности и циклически изменяющихся условий эксплуатации позволяет более точно устанавливать время достижения критической концентрации гидроксида кальция в стенке водосборного бассейна градирни, а значит и прогнозировать ее долговечность.

3. Предложено экономически эффективное исполнение стенки градирни с бетонами различных марок по водонепроницаемости: защитный слой из W10, а остальная часть стенки – W4. Предлагаемое соотношение бетонов двух марок увеличивает долговечность градирни, а общие затраты на строительство и эксплуатацию градирни уменьшает.

Список литературы

1. Лаптев А. Г., Ведьгаева И. А. Устройство и расчет промышленных градирен: монография. Казань: КГЭУ, 2004. 180 с.
2. Исследование влияния процессов массопереноса на надежность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 52–57.
3. Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций В. Ф. Степанова, Н. К. Розенталь, Г. В. Чехний [и др.] // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 69–73.
4. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 99–104.
5. О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации / В. И. Травуш, В. В. Гурьев, А. Н. Дмитриев [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 121–133.
6. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Оценка влияния параметров массопереноса на кинетику и динамику процессов, протекающих при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 1. С. 14–22.
7. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018, pp. 042–048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048.
8. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2017, vol. 13, issue 2, pp. 45–49.
9. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко [и др.] // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 44–47.
10. Математическое моделирование массопереноса в системе «цементный бетон - жидкая среда», лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2021. № 7. С. 4–9.
11. Математическое моделирование нестационарного массопереноса в системе «цементный бетон-жидкая среда», лимитируемого внутренней диффузией и внешней массообменом / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2022. № 1-2. С. 134–140.
12. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций в пресных и морских водах Н. К. Розенталь, Г. В. Чехний, И. М. Паршина [и др.] // Вестник НИЦ Строительство. 2017. № 1 (12). С. 43–53.
13. Селяев В. П., Селяев П. В., Хамза Е. Е. Основы теории деградации и прогнозирования долговечности железобетонных конструкций с учетом фрактального строения структуры материала // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 23–36.
14. Исследования физико-химических процессов в системе «цементный бетон - жидкая агрессивная среда» / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] Известия вузов. Химия и химическая технология. 2022. Т. 65. Вып. 7. С. 61–70
15. Красильников И. В. Определение параметров процесса неизотермического массопереноса при жидкостной коррозии бетонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 1 (45). С. 99–109.
16. Исследование влияния температуры на интенсивность массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов В. Е. Румянцева, И. В. Красильников, И. А. Красильникова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. № 1. 2022. С. 24–31.

References

1. Laptev A. G., Ved'gaeva I. A. Ustrojstvo i raschet promyshlennyh gradiren [Design and calculation of industrial cooling towers]: monografija. Kazan': KGJeU, 2004. 180 p.
2. Issledovanie vlijanija processov massoperenosa na nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnyh konstrukcij, jekspluatiruemyh v zhidkih agressivnyh sredah [Investigation of the influence of mass transfer processes on the relia-

bility and durability of reinforced concrete structures operated in liquid aggressive environments]. S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 12, pp. 52–57.

3. Opređenje korrozionnoj stojkosti torkret-betona kak zashhitnogo pokrytija betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij [Determination of corrosion resistance of shotcrete as a protective coating of concrete and reinforced concrete structures]. V. F. Stepanova, N. K. Rozental', G. V. Chehnij [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2018, issue 8, pp. 69–73.

4. Issledovanie diffuzionnyh processov massoperenosa pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Investigation of diffusion processes of mass transfer in liquid corrosion of the first type of cement concretes]. S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Himija i himicheskaja tehnologija*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 99–104.

5. O koncepcii razvitija normativno-tehnicheskoy bazy stroitel'nyh ob#ektov v period ih jekspluatacii [About the concept of development of the regulatory and technical base of construction facilities during their operation]. V. I. Travush, V. V. Gur'ev, A. N. Dmitriev [et al.]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2021, issue 1, pp. 121–133.

6. Fedosov S. V., Rumjanceva V. E., Krasil'nikov I. V. Ocenka vlijanija parametrov massoperenosa na kinetiku i dinamiku processov, protekajushih pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Evaluation of the influence of mass transfer parameters on the kinetics and dynamics of processes occurring during liquid corrosion of the first type of cement concretes]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Materialy. Konstrukcii. Tehnologii*, 2018, issue 1, pp. 14–22.

7. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018, pp. 042–048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048

8. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2017, vol. 13, issue 2, pp. 45–49.

9. Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovanija processov korrozii pervogo vida cementnyh betonov pri nalichii vnutrennego istochnika massy [Theoretical and experimental studies of corrosion processes of the first type of ce-

ment concretes in the presence of an internal mass source]. S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, N. S. Kas'janenko [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, issue 6, pp. 44–47.

10. Matematicheskoe modelirovanie massoperenosa v sisteme «cementnyj beton - zhidkaja sreda», limitiruemogo vnutrennej diffuziej perenosimogo komponenta pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida [Mathematical modeling of mass transfer in the "cement concrete - liquid medium" system, limited by internal diffusion of the transferred component during liquid corrosion of the first type]. S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2021, issue 7, pp. 4–9.

11. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnogo massoperenosa v sisteme «cementnyj beton-zhidkaja sreda», limitiruemogo vnutrennej diffuziej i vneshnej massootdachej [Mathematical modeling of unsteady mass transfer in the "cement concrete-liquid medium" system, limited by internal diffusion and external mass transfer]. S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2022, issue 1–2, pp. 134–140.

12. Korrozija betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij v presnyh i morskikh vodah [Corrosion of concrete and reinforced concrete structures in fresh and sea waters]. N. K. Rozental', G. V. Chehnij, I. M. Parshina [et al.]. *Vestnik NIC Stroitel'stvo*, 2017, vol. 1 (12), pp. 43–53.

13. Seljaev V. P., Seljaev P. V., Hamza E. E. Osnovy teorii degradacii i prognozirovaniya dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij s uchetom fraktal'nogo stroeniya struktury materiala [Fundamentals of the theory of degradation and prediction of durability of reinforced concrete structures taking into account the fractal structure of the material structure]. *Jekspert: teorija i praktika*, 2022, vol. 1 (16), pp. 23–36.

14. Issledovanija fiziko-himicheskikh processov v sisteme «cementnyj beton - zhidkaja agressivnaja sreda» [Investigations of physico-chemical processes in the system "cement concrete - liquid aggressive medium"]. S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i himicheskaya tekhnologija*, 2022, vol. 65, issue 7, pp. 61–70.

15. Krasil'nikov I. V. Opređenje parametrov processa neizotermicheskogo massoperenosa pri zhidkostnoj korrozii betonov [Determination of the parameters of the non-isothermal mass transfer process during liquid corrosion of concrete] *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2022, vol. 1 (45), pp. 99–109.

16. Issledovanie vliyaniya temperatury na intensivnost' massoperenosa pri korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Investigation of the ef-

fect of temperature on the intensity of mass transfer during corrosion of the first type of cement concrete] / V. E. Romyanceva, I. V. Krasil'nikov,

I. A. Krasil'nikova [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, issue 1, pp. 24–31.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор
E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: varrym@gmail.com

Красильников Игорь Викторович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, доцент, руководитель центра научно-исследовательских работ и технической экспертизы
E-mail: korasb@mail.ru

Krasilnikov Igor Viktorovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, docent, Head of the Center for Research and Technical Expertise
E-mail: korasb@mail.ru

Красильникова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир
ассистент

E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Krasilnikova Irina Aleksandrovna

Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir
Assistant

E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Новикова Ульяна Александровна

Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
старший преподаватель

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

Novikova Ulyana Alexandrovna

Sakhalin State University,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
Senior Lecturer

E-mail: uliana.a.novikova@gmail.com

Строкин Константин Борисович

доктор экономических наук, доцент, почетный строитель Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
директор Технического нефтегазового института
профессор кафедры строительства

E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

Doctor of Economics, Associate Professor, Honorary Builder of the Russian Federation
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
Director of the technical oil and gas institute
Professor of the department of construction

E-mail: strokin07@rambler.ru

УДК 691.554:66.018.8

АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ШТУКАТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ И СПОСОБЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

**В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Д. А. ПАНЧЕНКО³, Ю. Ф. ПАНЧЕНКО³,
В. С. КОНОВАЛОВА², О. И. КОРОЛЕВА³**

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

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

³ ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
Российская Федерация, г. Тюмень

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru,
kotprotiv@ya.ru, koroljovaoi@tyuiu.ru

В представленной работе проанализирована вероятность возникновения коррозионных процессов в штукатурных покрытиях на основе извести. Твердение известкового штукатурного раствора на первоначальном этапе происходит за счет испарения влаги, а в последующем – карбонизации извести. Отсутствие гидросиликатов и гидроалюминатов кальция в структуре затвердевшего штукатурного покрытия должно обеспечить высокую стойкость известкового штукатурного раствора к сульфатной коррозии. Процесс карбонизации штукатурки протекает достаточно интенсивно, что, вероятно, обусловлено высокой проницаемостью штукатурного раствора. Это позволяет сделать предположение о том, что коррозия I и II видов не представляет опасности для известковой штукатурки. Для защиты от коррозии, связанной с кристаллизацией солей в порах штукатурного покрытия, предложено снижать его капиллярное водопоглощение за счет введения в состав гидрофобизирующих добавок. Применение стеарата кальция в качестве гидрофобизирующей добавки позволяет не только значительно снизить капиллярное водопоглощение штукатурного раствора, но и увеличить его прочность на сжатие на 30 %.

Ключевые слова: известь, штукатурный раствор, карбонизация, коррозионная стойкость, гидрофобизация.

ANALYSIS OF CORROSION RESISTANCE OF LIME-BASED PLASTER COATINGS AND WAYS TO IMPROVE IT

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, D. A. PANCHENKO³, Yu. F. PANCHENKO³,
V. S. KONOVALOVA², O. I. KOROLEVA³**

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

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

³ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education « Industrial University of Tyumen»,
Russian Federation, Tyumen

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru,
kotprotiv@ya.ru, koroljovaoi@tyuiu.ru

In the presented work, the probability of occurrence of corrosion processes in lime-based plastering coatings is analyzed. Hardening of lime plaster mortar at the initial stage occurs due to evaporation of moisture, and subsequently due to carbonization of lime. The absence of hydrosilicates and hydroaluminates of calcium in the structure of the hardened plaster coating should ensure high resistance of lime plaster mortar to sulfate corrosion. The process of carbonization of plaster proceeds quite intensively, which is probably due to the high permeability of the plaster solution. This allows us to assume that corrosion of I and II types

does not pose a danger to lime plaster. To protect against corrosion associated with the crystallization of salts in the pores of the plaster coating, it is proposed to reduce its capillary water absorption by introducing hydrophobic additives into the composition. The use of calcium stearate as a hydrophobic additive allows not only to significantly reduce the capillary water absorption of the plaster solution, but also to increase its compressive strength by 30 %.

Key words: lime, plaster mortar, carbonation, corrosion resistance, hydrophobization.

Введение

При строительстве зданий подвальную и цокольную часть, как правило, выполняют из керамического кирпича или тяжелого бетона. Их капиллярно-пористое строение способствует проникновению влаги из грунтов в структуру материала. С водой в поры материалов поступают и различные агрессивные вещества. Изменение температуры среды приводит к миграции влаги с растворенными в ней веществами на поверхность и далее в отделочный штукатурный слой. Стойкость штукатурного раствора к действию тех или иных агрессивных веществ зависит от многих факторов, но немаловажное значение имеет вид применяемого вяжущего. Химический состав и степень загрязнения атмосферной влаги и грунтов зависит от специфики региона. Однако, наиболее опасными и распространенными являются сульфаты [1].

Разрушение бетона под воздействием сульфатных сред называется термином «сульфатная коррозия» и относится к коррозии III вида по классификации профессора В. М. Москвина. В цементных бетонах и растворах сульфатная коррозия вызвана образованием этtringита и таумасита. Эти минералы имеют сходную кристаллическую структуру, но таумасит представляет собой силикатную, а этtringит – алюминатную фазу. Образование этtringита и таумасита сопровождается значительным увеличением объема кристаллических новообразований, что приводит к развитию внутренних напряжений в бетоне и его разрушению. Этtringит, образующийся в уже сформировавшейся жесткой структуре, называется вторичным. В цементных материалах вторичный этtringит может образовываться как под действием сульфатов, поступивших из внешней среды, так и из внутренних сульфатисточников. Еще опаснее образование таумасита, представляющее собой трансформацию гидросиликатов кальция в белую гелеподобную массу, что сопровождается значительной потерей прочности и адгезионной способности [2]. Исключить образование вторичного этtringита в штукатурном растворе можно путем создания штукатурной смеси на основе известки без применения цемента.

Разработка состава известкового штукатурного раствора возможна на основе из-

вестково-песчаной смеси (ИПС), которая является полуфабрикатом при производстве силикатного кирпича. Известково-песчаная смесь представляет собой смесь песка и известки, которая прошла процесс гашения в силосе. Преимуществом известково-песчаной смеси по сравнению с традиционными сухими строительными смесями, содержащими известь-пушонку, является то, что при гашении в силосе в смеси с песком известь гасится до удельной поверхности близкой к удельной поверхности $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в известковом тесте, т.е. в 4–5 раз тоньше, чем у известки-пушонки [3, 4]. Это позволяет получать более жирные и пластичные растворы с меньшим водоотделением при меньшем расходе известки.

Присутствие в штукатурном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ заставляет задуматься о коррозии I и II видов. При коррозии I вида гидроксид кальция, как наиболее растворимый компонент, может вымываться из структуры затвердевшего штукатурного раствора в результате фильтрации воды через его слой. К коррозии II вида относится разрушение под действием кислот и некоторых солей. В результате реакции солей и кислот с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ образуются водорастворимые соединения, которые могут вымываться из структуры раствора. В цементных композициях это особенно опасно в связи с тем, что концентрация катионов Ca^{2+} оказывает непосредственное влияние на устойчивость гидросиликатов кальция, отвечающих за прочность раствора [5]. В известково-песчаной штукатурке гидросиликатов нет, а прочность раствора определяется наличием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и его способностью к карбонизации. Стойкость известково-песчаного раствора к коррозии I и II видов будет зависеть от скорости связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 . Известно, что в высококачественном бетоне карбонизация будет протекать со скоростью до 1 мм в год [6]. Однако, это связано с более низкой проницаемостью плотного бетона по сравнению с известковым штукатурным раствором. В тонком штукатурном слое с низкой плотностью и высокой газопроницаемостью процесс карбонизации должен протекать гораздо интенсивнее. Для подтверждения данной гипотезы проведены исследования скорости карбонизации известкового штукатурного раствора.

Кроме коррозионных процессов, связанных с химическим взаимодействием компонентов штукатурного раствора с агрессивным химическим агентом, может проявляться и коррозия, связанная с отложением в порах и капиллярах штукатурного раствора веществ, кристаллизующихся из растворов, проникающих в структуру в результате капиллярного подсоса. Они могут вызвать опасные напряжения в материале [7-9]. Опасна и кристаллизация солей на границе «штукатурное покрытие – материал стены», так как это приводит к его отслоению от основания. Следовательно, штукатурный раствор должен обладать достаточной проницаемостью и иметь резерв объема пор для снятия напряжений от кристаллизации солей [10]. Выход солей на поверхность штукатурного покрытия также не желателен, так как это ухудшает внешний вид штукатурки и может приводить к разрушению последующего отделочного слоя.

Жидкость, присутствующая в порах, имеет важное влияние как на перенос различных агрессивных веществ, так и на явления деградации, которые могут иметь место в бетоне, поэтому необходимо разрабатывать способы по предотвращению попадания и распространения агрессивной среды в материале [11]. Глубина миграции влаги из стенового материала в штукатурное покрытие будет зависеть от капиллярного водопоглощения штукатурного раствора. Кроме того, штукатурные растворы на основе извести, без применения цементного вяжущего, имеют невысокую прочность. Поэтому необходим поиск путей повышения прочности и снижения капиллярного водопоглощения известкового штукатурного раствора.

Классический способ снижения водопоглощения, в том числе и капиллярного, – это применение в составе штукатурной смеси гидрофобизаторов [12]. Гидрофобизирующие добавки придают стенкам пор и капилляров в бетоне гидрофобные свойства. Наиболее известными химическими добавками среди водоотталкивающих материалов являются кремнийорганические соединения [13-17] и соли жирных кислот, например, стеараты и олеаты щелочных и щелочно-земельных металлов [18-20].

В данной работе исследовалась скорость карбонизации извести в штукатурном растворе на основе известково-песчаной смеси завода по производству силикатного кирпича и влияние гидрофобизаторов на свойства данного штукатурного раствора.

Материалы и методы исследования

Состав кристаллической фазы штукатурного раствора на основе известково-песчаной смеси исследовался с помощью рентгенофазового анализа. Скорость карбонизации извести в штукатурном растворе изучалась на образцах толщиной 10 мм, отобранных с поверхности стены, в различные сроки твердения с помощью дифференциально-термического анализа.

Влияние гидрофобизаторов на свойства штукатурного раствора оценивалось по изменению прочности при сжатии по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний» и капиллярного водопоглощения по ГОСТ 31356-2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний» в возрасте 28 суток. Для исследований были взяты два варианта кремнийорганических гидрофобизаторов SilresPowder A и SilresPowder D, с рекомендуемой производителем дозировкой от 0,1 до 0,5 % от массы сухой смеси, отличающиеся тем, что SilresPowder D содержит дополнительно мелкий минеральный наполнитель для уменьшения ее слеживаемости и стеарат кальция в рекомендуемой производителем дозировке от 0,2 до 1,0 % от массы сухой смеси.

Результаты исследования

На основании результатов рентгенофазового анализа состава затвердевшего штукатурного раствора (рис. 1) установлено, что в возрасте 28 суток известково-песчаный раствор не содержит гидросиликаты кальция, т.е. гидросиликатное твердение не происходит. Твердение известково-песчаного раствора на начальном этапе обусловлено испарением влаги, а в последующем – карбонизацией извести [21, 22]. Отсутствие в затвердевшем штукатурном растворе гидросиликатов кальция исключает образование таумасита и предопределяет его высокую стойкость против сульфатной коррозии.

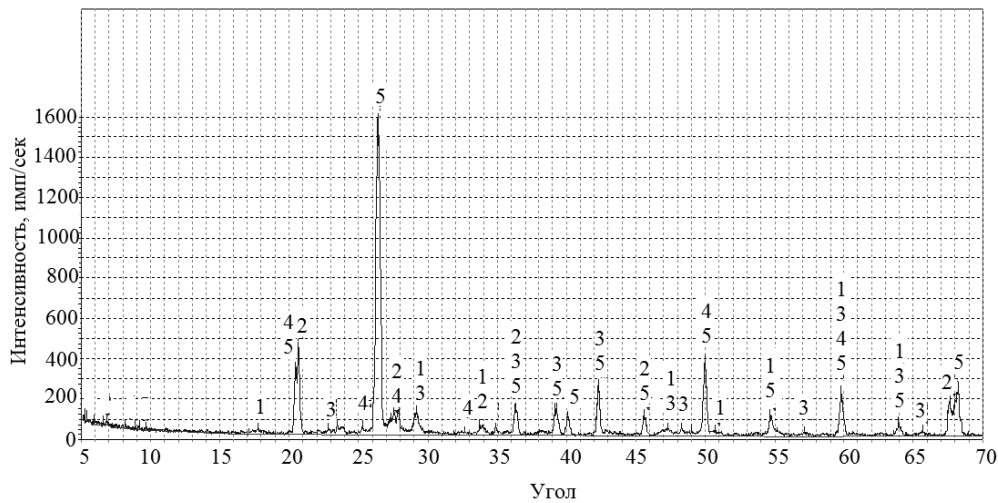


Рис. 1. Рентгенограмма штукатурного раствора на основе известково-песчаной смеси в возрасте 28 суток:

1 – портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 2 – арагонит CaCO_3 ; 3 – кальцит CaCO_3 ; 4 – фатерит CaCO_3 ; 5 – кварц SiO_2

С помощью дифференциально-термического анализа (рис. 2, табл. 1 и 2) установлено, что в образце штукатурки 2-х летнего возраста полностью отсутствует $\text{Ca}(\text{OH})_2$, к 28 суткам связывается 77 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$, к 7-ми суткам – 52 %, а в возрасте 3-х дней содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в штукатурном растворе соответствует исходной активности ИПС – 9,3 %, т.е. в первые трое суток карбони-

зация вообще не происходит, что вероятно связано с высоким водосодержанием раствора [23]. Следовательно, коррозия I и II вида может быть опасна только в период от 3-х до 28 суток твердения. Так как, коррозионные процессы развиваются во времени достаточно медленно, то эти виды коррозии для известкового раствора не представляет особой опасности.

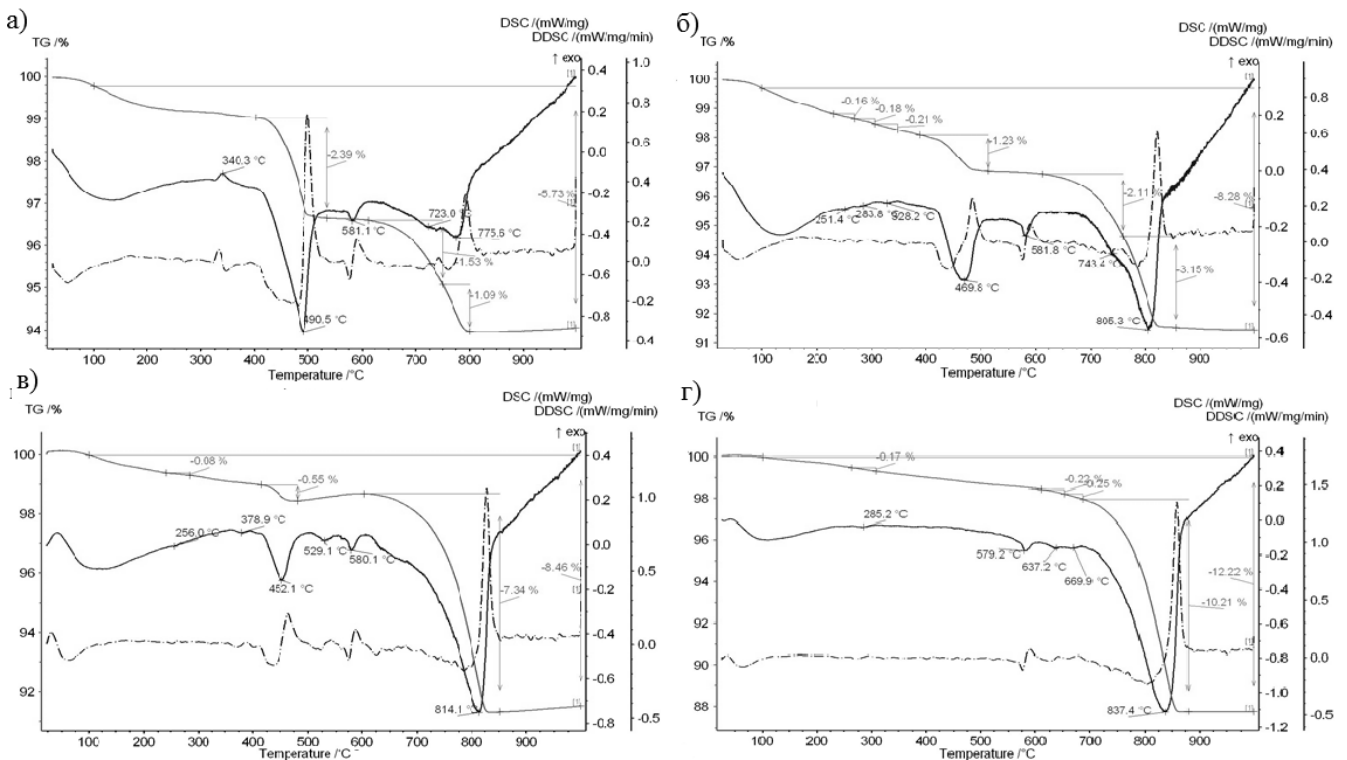


Рис. 2. Кривые дифференциально-термического анализа штукатурного раствора в возрасте: а) 3 суток; б) 7 суток; в) 28 суток; г) 2 года

Таблица 1. Изменение массы и энергии образцов при испытании на ДТА

t ДТА, °С	Характер эффекта	Процесс, вызывающий эффект	Изменение массы, %, для образца в возрасте			
			3 сут.	7 сут.	28 сут.	2 года
430-480	Эндотермический	Дегидратация гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	2,39	1,23	0,55	0
600-760	Эндотермический	Термическое разложение CaCO_3 первичного (арагонит) на CaO и CO_2	1,53	2,11	2,44	1,75
760-850	Эндотермический	Термическое разложение вторичного CaCO_3 (кальцит) на CaO и CO_2	1,09	3,15	4,89	8,46

Таблица 2. Содержание гидроксида кальция и карбоната кальция в образцах

Возраст раствора	Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$, %	Содержание CaCO_3 (вторичный), %
3 сут.	9,8	2,5
7 сут.	5,1	7,2
28 сут.	2,3	11,1
2 года	0	19,3

Таблица 3. Влияние гидрофобизирующих добавок на свойства штукатурного раствора

Наименование добавки	Дозировка, % от массы сухой смеси	Капиллярное водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа
-	-	0,97	0,67
SilresPowder A	0,20	0,18	0,77
	0,35	0,19	0,71
	0,50	0,20	0,58
SilresPowder D	0,20	0,14	0,63
	0,35	0,15	0,52
	0,50	0,16	0,46
Стеарат Ca	0,40	0,17	0,93
	0,70	0,20	0,75
	1,00	0,22	0,67

Результаты исследования влияния гидрофобизаторов на свойства штукатурного раствора, представленные в табл. 3, показали, что:

1) Все исследуемые гидрофобизаторы обеспечивают требуемое значение капиллярного водопоглощения штукатурного раствора менее $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{0,5})$.

2) Гидрофобизаторы оказывают влияние на прочность раствора. При небольших дозировках добавки прочность несколько увеличивается, либо остается неизменной, а при увеличении содержания гидрофобизатора прочность штукатурного раствора снижается.

3) Наибольшее увеличение прочности раствора наблюдается при использовании добавки стеарата кальция в дозировке 0,4 %. При

этом достигается значительный гидрофобизирующий эффект.

4) Во всех случаях с увеличением дозировки гидрофобизатора увеличивается капиллярное водопоглощение.

Снижение прочности при увеличении дозировки гидрофобизирующей добавки, наблюдается и в цементных бетонах [24], но только в начальные сроки твердения. Также, при увеличении дозировки гидрофобизатора несколько увеличивается капиллярное водопоглощение. Снижение прочности и увеличение капиллярного водопоглощения, вероятно, объясняется формированием более рыхлой и дефектной структуры штукатурного раствора при больших дозировках гидрофобизаторов.

Заключение

1) Твердение известкового штукатурного раствора на первоначальном этапе происходит за счет испарения влаги, а в последующем – карбонизации извести. Отсутствие гидросиликатов и гидроалюминатов кальция в структуре штукатурного покрытия позволяет предположить высокую стойкость известкового штукатурного раствора к сульфатной коррозии.

2) К возрасту 28 суток в штукатурном растворе толщиной 10 мм содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ составляет всего 23 % от первоначального. Процесс карбонизации извести протекает достаточно интенсивно, что, вероятно обусловлено высокой газопроницаемостью штукатур-

ного раствора. Это позволяет сделать предположение о том, что коррозия I и II видов не представляет опасности для известковой штукатурки.

3) Снизить вероятность кристаллизации солей в порах известково-песчаного раствора возможно за счет применения гидрофобизирующих добавок.

4) Наибольшую эффективность в качестве гидрофобизирующей добавки показал стеарат кальция. При дозировке 0,4 % от массы сухой штукатурной смеси увеличивается прочность при сжатии штукатурного раствора на 30 %, снижается капиллярное водопоглощение в 5,7 раза.

Список литературы

1) Яковлева М. А. Защита строительных сооружений от водно-солевых нагрузок // Сухие строительные смеси. 2015. № 4. С. 31–34.

2) Базанов С. М., Федосов С. В. О некоторых проблемах сульфатной коррозии бетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. №11. 2004. С. 27–30.

3) Хавкин Л. М. Технология силикатного кирпича. Репринтное воспроизведение издания 1982 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 384 с.

4) Хинт Й. А. Основы производства силикатных изделий. М.-Л.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1962. 642 с.

5) Математическое моделирование массопереноса в системе цементный бетон – жидкая среда, лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2021. № 7. С. 4–9. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-793-7-4-9.

6) Румянцева В. Е., Гоглев И. Н. Особенности коррозии бетона и железобетона в хлоридных и углекислых средах // Информационная среда ВУЗа. 2016. № 1 (23). С. 379–382.

7) Конструкционные и теплоизоляционные строительные материалы принудительного карбонатного твердения из вторичного сырья: монография. Н. В. Любомирский, С. И. Федоркин, А. С. Бахтин [и др.]. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. 408 с.

8) Григорьев Д. С. Структурное регулирование капиллярной проводимости санирующих штукатурок // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-1. С. 42–47.

9) Алабушев Д. А., Кекало О. Г. Санирующие штукатурные смеси в строительстве

// Приоритетные направления развития науки и образования: сборник статей X Международной научно-практической конференции: в 2 ч. 2020. С. 99–103.

10) Харитонов А. М., Николаев В. А. Штукатурный состав для комплексной защиты кирпичных стен от солевой коррозии // Инновации и инвестиции. 2019. № 3. С. 230–234

11) Управление процессами массопереноса при коррозии цементных бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова [и др.] // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» на Международном Косыгинском Форуме-2019 «Современные задачи инженерных наук». 2019. С. 14–18. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-3-106-111.

12) Кузьмина В. П. Особенности применения сухих строительных смесей при проведении отделочных работ в различных климатических условиях. Часть 1. // Сухие строительные смеси. 2017. № 6. С. 34–38.

13) Исследование свойств цементогрунта для дорожной одежды, модифицированного кремнийорганическим гидрофобизатором / Е. А. Вдовин, Н. В. Коновалов, Г. Р. Хилавиева // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы XVIII международной научно-практической конференции. North Charleston, USA, 2019. С. 54–56.

14) Богданов Р. Р., Ибрагимов Р. А., Изотов В. С. Исследование влияния отечественных гидрофобизаторов на основные свойства цементного теста и раствора // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 4 (26). С. 207–210.

15) Войтович В. А., Хряпченкова И. Н. Направления применения гидрофобизаторов в строительстве (информация) // Строительные материалы. 2015. № 7. С. 76–79.

16) Гладков С. А. Влияние глубины проникновения кремнийорганических гидрофобизаторов на морозостойкость строительных изделий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 8 (163). С. 18–19.

17) Никишкин В. А. Условия работы цементного камня обработанного кремнийорганическими гидрофобизаторами // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 10 (153). С. 22–24.

18) Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Исследования жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов модифицированных гидрофобизирующими добавками // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: сборник научных трудов РААСН: в 2 томах. Москва, Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). 2021. С. 289–298.

19) Pavlíková M, Pavlík Z, Pernicová R, Černý R The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters // AIP Conference Proceedings, 2016, vol. 1738, 280005. <https://doi.org/10.1063/1.4952065>.

20) Гигрометрические свойства цементно-песчаных растворов, модифицированных современными гидрофобизаторами / В. И. Калашников, К. Н. Махамбетова, И. Ю. Шитова // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 274.

21) Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю. В. Пухаренко, А. М. Харитонов, Н. Н. Шангина [и др.] // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 1 (26). С. 98-103.

22) Потапов С. С., Червяцова О. Я., Паршина Н. В. Современные минеральные образования в малой архитектурной форме (арке Бювета) на территории Новоафонского монастыря (республика Абхазия) // Минералогия техногенеза. 2021. № 22. С. 29–42.

23) Волженский А. В., Бузов Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1979. 473 с.

24) Кольматация пор цементных бетонов при гидрофобизации / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Фундаментальные, поисковые и прикладные

исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году. М.: Российская академия архитектуры и строительных наук. 2019. С. 563–572. DOI: 10.22337/9785432303134-563-572.

References

1) Jakovleva M. A. Zashhita stroitel'nyh sooruzhenij ot vodno-solevyh nagruzok [Protection of construction structures from water-salt impacts]. *Suhie stroitel'nye smesi*, 2015, issue 4, pp. 31–34.

2) Bazanov S. M., Fedosov S. V. O nekotoryh problemah sulfatnoj korrozii betona [About some problems of sulphate corrosion of concrete]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, issue 11, 2004, pp. 27-30.

3) Havkin L. M. *Tehnologija silikatnogo kirpicha. Reprintnoe vosproizvedenie izdanija 1982 g* [Silicate brick technology. Reprint reproduction of the 1982 edition]. M., JeKOLIT, 2011, 384 p.

4) Hint J. A. *Osnovy proizvodstva silikatnyh izdelij* [Fundamentals of the production of silicate products]. M.-L., Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, arhitekture i stroitel'nym materialam. 1962, 642 p.

5) Matematicheskoe modelirovanie mas-soperenosa v sisteme cementnyj beton – zhidkaja sreda, limitiruemogo vnutrennej diffuziej perenosimogo komponenta pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida [Mathematical modeling of mass transfer in the «cement concrete – liquid medium» system, limited by internal diffusion of the transferred component during liquid corrosion of the first type] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2021, issue 7, pp. 4–9, DOI: 10.31659/0585-430X-2021-793-7-4-9.

6) Rumjanceva V. E., Goglev I. N. Oso-bennosti korrozii betona i zhelezobetona v hloridnyh i uglekislyh sredah [Features of concrete and reinforced concrete corrosion in chloride and carbon dioxide environments]. *Informacionnaja sreda VUZa*, 2016, vol. 1 (23), pp. 379–382.

7) *Konstrukcionnye i teploizoljacionnye stroitel'nye materialy prinuditel'nogo karbonatnogo tverdenija iz vtorichnogo syr'ja: monografija* [Structural and heat-insulating building materials of forced carbonate hardening from secondary raw materials. Monograph]. N. V. Ljubomirskij, S. I. Fedorkin, A. S. Bahtin [et al.]. Simferopol, IT «ARIAL», 2021, 408 p.

8) Grigor'ev D. S. Strukturnoe regulirovanie kapilljarnoj provodimosti sannirujushhih shtukaturok [Structural regulation of capillary con-

ductivity of sanitizing plasters]. *Fundamental'nye issledovanija*, 2017, vol. 9-1, pp. 42-47.

9) Alabushev D. A., Kekalo O. G. Sanirujushhie shtukaturnye smesi v stroitel'stve [Sanitizing plaster mixes in construction]. *Prioritetnye napravlenija razvitija nauki i obrazovanija: sbornik statej X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*, v 2 ch. 2020, pp. 99-103.

10) Haritonov A. M., Nikolaev V. A. Shtukaturnyj sostav dlja kompleksnoj zashhity kerpichnyh sten ot solevoj korrozii [Plaster composition for complex protection of brick walls from salt corrosion]. *Innovacii i investicii*, 2019, issue 3, pp. 230-234.

11) Upravlenie processami massoperehosa pri korrozii cementnyh betonov [Control of mass transfer processes during corrosion of cement concretes] S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, V. S. Konovalova [et al.]. *Jenergoresursojefektivnye jekologicheski bezopasnye tehnologii i oborudovanie: Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo simpoziuma «Vtorye mezhdunarodnye Kosyginские chtenija, priurochennye k 100-letiju RGU imeni A. N. Kosygina» na Mezhdunarodnom Kosyginском Forume-2019 «Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk»*, 2019, pp. 14–18. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-3-106-111.

12) Kuz'mina V. P. Osobennosti primenenija suhijh stroitel'nyh smesej pri provedenii odelochnykh rabot v razlichnyh klimaticeskijh uslovijah. Chast' 1 [Control of mass transfer processes during corrosion of cement concretes]. *Suhie stroitel'nye smesi*, 2017, issue 6, pp. 34–38.

13) Issledovanie svojstv cementogrunta dlja dorozhnoj odezhdy, modifirovannogo kremnijorganicheskim gidrofobizatorom [Investigation of the properties of cement-based pavement modified with an organosilicon hydrophobizer]. E. A. Vdovin, N. V. Konovalov, G. R. Hilavieva *Aktual'nye napravlenija fundamental'nyh i prikladnyh issledovanij: materialy XVIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*, 2019, pp. 54–56.

14) Bogdanov R. R., Ibragimov R. A., Izotov V. S. Issledovanie vlijanija otechestvennyh gidrofobizatorov na osnovnye svojstva cementnogo testa i rastvora [Investigation of the influence of domestic hydrophobizers on the basic properties of cement paste and mortar]. *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2013, vol. 4 (26), pp. 207–210.

15) Vojtovich V. A., Hrapchenkova I. N. Napravlenija primenenija gidrofobizatorov v stroitel'stve (informacija) [Directions of application of hydrophobizers in construction. Information]. *Stroitel'nye materialy*, 2015, issue 7, pp. 76–79.

16) Gladkov S. A. Vlijanie glubiny proniknovenija kremnijorganicheskih gidrofobi-

zatorov na morozostojkost' stroitel'nyh izdelij [The effect of the penetration depth of organosilicon hydrophobizers on the frost resistance of building products]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*, 2012, vol. 8 (163), pp. 18–19.

17) Nikishkin V. A. Uslovija raboty cementnogo kamnja obrabotannogo kremnijorganicheskim gidrofobizatorami [Working conditions of cement stone treated with organosilicon hydrophobizers]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*, 2011, vol. 10 (153), pp. 22–24.

18) Fedosov S. V., Rumjanceva V. E., Krasil'nikov I. V. Issledovanija zhidkostnoj korrozii vtorogo vida cementnyh betonov modifirovannyh gidrofobizirujushhimi dobavkami [Studies of liquid corrosion of the second type of cement concretes modified with hydrophobic additives]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2020 godu: sbornik nauchnyh trudov RAASN: v 2 tomah*. M.: Rossijskaja akademija arhitektury i stroitel'nyh nauk, 2021, pp. 289–298.

19) Pavlíková M, Pavlík Z, Pernicová R, Černý R The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters // AIP Conference Proceedings, 2016, vol. 1738, 280005. <https://doi.org/10.1063/1.4952065>.

20) Gigrometricheskie svojstva cementno-peschanyh rastvorov, modifirovannyh sovremennymi gidrofobizatorami Kalashnikov V.I., Mahambetova K.N., Shitova I.Ju., Samoshina E.N., Petuhov A.V. [Hygrometric properties of cement-sand mortars modified with modern hydrophobizers]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2015, vol. 1-1, pp. 274.

21) Restavracija istoricheskijh ob'ektov s primeneniem sovremennyh suhijh stroitel'nyh smesej [Restoration of historical objects using modern dry building mixes]. Ju. V. Puharenko, A. M. Haritonov, N. N. Shangina [et al.]. *Vestnik grazhdanskijh inzhenerov*, 2011, vol. 1 (26), pp. 98–103.

22) Potapov S. S., Chervjacova O. Ja., Parshina N. V. Sovremennye mineral'nye obrazovanija v maloj arhitekturnoj forme (arke Bjuveta) na territorii Novoafonskogo monastyrja (respublika Abhazija) [Modern mineral formations in a small architectural form (arch of buvette) on the territory of the New Athos Monastery (Republic of Abkhazia)]. *Mineralogija tehnogeneza*, 2021, issue 22, pp. 29–42.

23) Volzhenskij A. V., Burov Ju. S., Kolookol'nikov V. S. *Mineral'nye vjzhushhie veshhestva: (tehnologija i svojstva)*. Uchebnik dlja vuzov 3-e izd., pererab. i dop. [Mineral binders: Technology and Properties. Textbook for universi-

ties 3rd ed., reprint. and add.]. M., Strojizdat, 1979, 473 p..

24) Kol'matacija por cementnyh betonov pri gidrofobizacii [Colmatation of cement concrete pores during hydrophobization] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovanija*

Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk po nauchnomu obespečeniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2018 godu. M.: Rossijskaja akademija arhitektury i stroitel'nyh nauk, 2019, pp. 563–572. DOI: 10.22337/9785432303134-563-572.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН
профессор кафедры естественнонаучных дисциплин
ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация, г. Иваново
директор Института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук, зав.кафедрой естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

professor of the department of natural sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

director of the Institute of information technology, natural sciences and humanities, head of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: varrym@gmail.com

Панченко Дмитрий Алексеевич

старший преподаватель кафедры строительных материалов

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Российская Федерация, г. Тюмень

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Panchenko Dmitrii Alekseevich

Senior Lecturer of the Construction Materials Department

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Панченко Юлия Федоровна

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Panchenko Luliia Fyodorovna

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Konovalova Viktoriya Sergeevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, docent of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Королева Ольга Игоревна

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

E-mail: koroljovaoi@tyuiu.ru

Koroljova Olga Igorevna

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

E-mail: koroljovaoi@tyuiu.ru

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING
(TECHNICAL SCIENCES)**

УДК 614.841.45

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
В КУЛЬТУРНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ**

С. А. ГУКАСЯН¹, А. А. КОЗЛОВ², М. В. СИБИРЯКОВ³

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

² Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России
Российская Федерация, г. Москва

³ Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: 9055111313@mail.ru, dkac77@gmail.com, M.Sibiryakov@academygps.ru

Методы обеспечения пожарной безопасности в культурно-просветительских учреждениях до конца не изучены. Данный факт приводит к тому, что их реализация может быть осуществлена при проведении дальнейших исследований. В данной работе рассматривается вопрос применения пожарной сигнализации в культурно-просветительских учреждениях. Особое внимание уделено применению аспирационных извещателей для нахождения возможного места возникновения пожара, так как оно существенно влияет на последствия пожара.

В работе так же были проанализированы статистические данные возникновения пожаров и их последствий с ретроспективой пять лет. Показано отличие тушения пожаров в культурно-просветительских учреждениях от тушения пожаров в других зданиях с массовым пребыванием людей. В качестве особенностей можно отметить, что часть культурно-просветительских учреждений могут быть памятниками архитектуры, и возникновение пожаров в таких зданиях может повлечь не только материальный ущерб, но и ущерб наследию как национальному, так и культурному.

Ключевые слова: аспирационный извещатель, пожарная безопасность, система пожарной сигнализации, культурно-просветительское учреждение, место возникновения пожара.

FEATURES OF FIRE SAFETY IN CULTURAL INSTITUTIONS

S. A. GHUKASYAN¹, A. A. KOZLOV², M. V. SIBIRYAKOV³

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

² Department of Supervision and Preventive Work of the Russian Federation
of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and
Elimination of Consequences of Natural Disasters,
Russian Federation, Moscow,

³ Federal State Educational Institution of Higher Education « Moscow Academy
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, Moscow

E-mail: 9055111313@mail.ru, dkac77@gmail.com, M.Sibiryakov@academygps.ru

Methods of fire safety in cultural institutions have not been fully explored. This means that they can be implemented through further research. The use of fire alarm in cultural institutions is discussed in this arti-

cle. Special attention is paid to the application of aspiration detectors at a possible place of fire. This has a significant impact on the consequences of the fire.

The analysis of fire statistics and their effects with a five-year retrospective was carried out in this article. It is shown that fire fighting in cultural institutions differs from fire fighting in other buildings with mass stay of people. As a special feature, some cultural institutions may be architectural monuments. And fires in such buildings can cause not only material damage, but also damage to both national and cultural heritage.

Key words: aspiration detector, fire safety, fire alarm system, cultural institution, place of fire.

Риск возникновения пожара присутствует всегда. Это обусловлено рядом факторов, которые прямо или косвенно влияют на возникновение пожара. К ним можно отнести производственный фактор (например, искробразование в ходе технологического процесса), природный фактор (например, удар молнии), человеческий фактор (например, неосторожное обращение с огнем) и другие. Не зависимо от фактора, риск возникновения пожара является событием, вероятность наступления которого неопределенна, т.е. пожар может произойти, а может не произойти при одних и тех же условиях. Если пожар произойдет, то могут возникнуть потери по двум направлениям: материальный ущерб и человеческие жертвы. Как правило, в отношении материального ущерба особое значение имеет лишь общая и направленная оценка материальных, моральных, психологических потерь, которая может дать целостное представление о том, чем оборачиваются пожары. Намного сложнее дать оценку человеческим жертвам, ведь травмирование людей на пожаре может быть невосполнимой потерей, а гибель – всегда невосполнимая потеря.

По данным статистики Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, в 2020 году на территории Российской Федерации зарегистрировано 439394 пожара, на которых погибло 8313 человек и получило травмы 8434 человека [1]. Число погибших на пожарах в Российской Федерации составляет 6 человек на 100 тысяч населения, что по данным Центра пожарной статистики Международной ассоциации пожарно-спасательных служб CTF в шесть раз больше, чем значение по всем странам [2]. Проанализировав статистику, оказалось, что процентное отношение всех зданий в Российской Федерации и количество всех пожаров за 2020 год к зданиям театров и количеству пожаров в культурно-просветительских учреждениях за 2020 год составляет 42,2 %.

С каждым годом количество зданий и сооружений растет на сотни тысяч в год. Количество театров в Российской Федерации изменяется с намного меньшей скоростью. Так за 2020 год вошли в сеть театров, подведом-

ственным органам управления в сфере культуры, 4 театра, вышли из сети – 2¹ [3]. Несмотря на небольшое количество театров, они есть в каждом субъекте Российской Федерации. И каждый регион сталкивается с проблемой возникновения пожаров в культурно-просветительских учреждениях. Сфера культуры призвана удовлетворять возрастающие запросы различных категорий нашего населения, обогащать их духовную жизнь, формировать здоровые потребности и высокие эстетические требования. Поэтому так важно сохранять от огня культурно-просветительские учреждения. Ведь огонь не щадит ничего, и уникальные объекты культуры, необходимые для разностороннего развития людей, могут быть безвозвратно утеряны. Все это приводит к необходимости применения различных средств противопожарной защиты.

Средства противопожарной защиты включают в себя различные элементы, но в рамках настоящей статьи рассматривается только один – система пожарной сигнализации. В случае, если автоматические системы пожарной сигнализации установлены на объекте, они определяют место возникновения пожара. Для успешных действий по тушению пожара и спасению людей, материальных и культурных ценностей большую роль играет место его возникновения. Причины возникновения могут быть различны. Устройства и материалы, на которых или от которых возник пожар, имеют существенное влияние на дальнейшее развитие пожара. Поэтому важно правильно определять места для монтажа автоматической системы сигнализации. Исследуя статистические данные, можно выявить основные группы изделий, устройств, материалов, на которых или от которых возник пожар. Данные представлены в таблице.

¹ Театры Российской Федерации в цифрах 2020 // ФГБУ «ГИВЦ Минкультуры России», 2021. URL:<https://www.stat.mkrf.ru> (дата обращения: 01.03.2022).

Таблица. Распределение пожаров по видам изделий

Наименование изделия	Количество пожаров за 2016-2020 гг., ед.				
	2016	2017	2018	2019	2020
Спичка, зажигалка, свеча	30033	29611	27197	192337	177361
Сигарета	15563	14594	13878	49605	46735
Кабель, провод	33446	29731	30951	33484	34865
Выключатель, розетка, разветвитель	2599	3564	3787	5009	5012
Электрораспределительный щит	1957	2186	2044	3114	3370
Газосварочный, электрогазосварочный аппарат	976	1004	1000	1398	1444
Электроосветительный прибор	838	1020	946	1279	1332
Холодильная установка, холодильник (в общественных местах)	634	612	612	783	849
Видеоотображающая аппаратура	368	355	289	313	254
ЭВМ, оргтехника	146	171	189	239	228
Кондиционер	123	97	117	117	134
Звукозаписывающая и звуковоспроизводящая аппаратура	43	47	42	52	49
Видеозаписывающая и видеовоспроизводящая аппаратура	21	31	36	39	37

Таблица показывает, что чаще всего пожары возникают из-за сигарет, спичек, зажигалок, свечей, а также кабелей и проводов. Резкое возрастание пожаров в 2019–2020 годах от спичек, зажигалок, свечей, сигарет обусловлено тем, что учет пожаров и загораний объединили. Поэтому загорания травы и другой растительности, мусора и прочего, которые возникли из-за спичек или зажигалок, дали рост этому показателю в 7 раз, а количество пожаров, которые произошли от сигареты, выросло в три раза. Количество пожаров, возникших из-за кабеля или провода, составляет 7 % общего количества пожаров. Пожары из-за проводов и кабелей возникают так часто потому, что в зданиях и сооружениях редко проводятся капитальный ремонт систем электроснабжения, нарушают требования безопасности, превышают предельную нагрузку на сеть. Эти действия приводят к перегреву систем электроснабжения, нарушению целостности проводящего элемента и др., что в свою очередь приводит к пожару.

Данные о таких изделиях, как звукозаписывающая и звуковоспроизводящая аппаратура, видеозаписывающая и

видеовоспроизводящая аппаратура, видеоотображающая аппаратура и электроосветительные приборы, представляют важные для культурно-просветительских учреждений показатели. Для оформления сценического мероприятия необходимо музыкально-шумовое воспроизведение, которое помогает добиться определенного эффекта. Использование звукозаписывающей и звуковоспроизводящей аппаратуры помогает реализовать такие виды звукотехнического оформления, как фонограмма, звуковая перспектива, мизансценирование звука, реверберация и эхо. Количество пожаров, возникших на аппаратуре данного вида сравнительно мало по сравнению с другими – средний арифметический показатель за пять лет – примерно 47 пожаров. Использование видеозаписывающей, видеовоспроизводящей и видеоотображающей аппаратуры в культурно-просветительских учреждениях широко используется. Ее применение необходимо для создания таких эффектов, как выход во внесценическое пространство, отображение субтитров и другого текста, показ крупного плана, кроме этого, использование как виртуальную декорацию. За пять лет коли-

чество пожаров, возникших на (или от) видео-записывающей, видеовоспроизводящей и видеоотображающей аппаратуры снизилось на 25 %. Светотехническое оборудование, установленное в культурно-просветительских учреждениях призвано обеспечивать хорошую видимость и создавать определенный образ. В связи с этим, система освещения должна быть динамичной, легкоуправляемой и трансформируемой, что при частом переоборудовании может привести к ошибке в подключении. Кроме того, светильники, используемые в системе освещения, для излучения холодного белого цвета должны создать цветовую температуру в 5500 К и выше. На основе полученных статистических данных следует, что количество пожаров из-за электроосветительных приборов за пять лет увеличилось на 30 %.

В качестве особенностей тушения пожаров в культурно-просветительских учреждениях можно отметить восемь существенных показателей. Первый и самый главный – угроза людям. Как известно, в культурно-просветительских учреждениях работает большое количество людей, к тому же их посещают люди с различными физическими показателями здоровья. Это могут быть дети, которым будет трудно сориентироваться при возможном пожаре, престарелые и инвалиды, которым сложно будет эвакуироваться самостоятельно. Следующий показатель – это большое количество материальных ценностей, некоторые из них могут являться культурными ценностями. Реквизиты, бутафория, костюмы, декорации являются дорогостоящим имуществом, которое хранится в помещениях культурно-просветительских учреждений. И наличие таких помещений является третьим показателем. Но стоит иметь в виду, что реквизиты, декорации и прочее зависят от репертуара культурно-просветительского учреждения и проходящих в нем выступлений. Следовательно, горячая нагрузка, как четвертый показатель, постоянно меняется, и невозможно предугадать, сколько она будет составлять на момент возможного пожара. Представляется возможным определить постоянную пожарную нагрузку, к которой можно отнести отделку помещений, различную аппаратуру, одежду сцены и мебель. Как следствие, возникает следующий показатель – быстрое распространение пожара. Особое внимание следует уделить его распространению по вентиляционным системам. В культурно-просветительских учреждениях зачастую используются помещения различных функционально-эксплуатационных назначений, что приводит к сложности планировки зданий. Данный факт оказывает влияние на действия по тушению пожара и на эвакуацию людей и материальных ценностей. Заключительный показатель

состоит в том, что пути подъезда к культурно-просветительскому учреждению чаще всего загромождены. Это может быть вызвано тем, что происходит разгрузка или вывоз реквизитов и декораций, большим количеством автомобилей посетителей и персонала, припаркованных около культурно-просветительского учреждения. К тому же часто культурно-просветительские учреждения располагаются в центре населенного пункта, где плотность застройки выше, в связи с этим невозможно расширить пути подъезда и увеличить их количество, если это необходимо.

Для более эффективных действий по тушению пожара, эвакуации людей и материальных ценностей представляется необходимым определить место возникновения пожара. Это предполагает необходимость установки системы пожарной сигнализации. Надежность системы пожарной сигнализации включает в себя точную настройку пожарных извещателей. Но данный факт не всегда приводит к желаемым результатам, так как при точной настройке увеличивается количество ложных срабатываний. Если изменить настройку на менее точную, то проблема с ложными срабатываниями решится. Однако в случае возникновения пожара увеличивается риск не срабатывания пожарного извещателя, что может привести к увеличению количества пострадавших и материального ущерба. Но у ложных срабатываний существуют свои негативные последствия, которые заключаются в обесценивании системы пожарной сигнализации и пренебрежении ей. Поэтому для эффективной работы системы пожарной сигнализации необходимо найти баланс между качеством срабатывания и возможными последствиями.

При оценке значимых показателей системы пожарной сигнализации стоит обратить внимание на ее своевременность и достоверность. Для их достижения требуется применять пожарные извещатели в соответствии с характером защищаемого объекта. В культурно-просветительских учреждениях предлагается применять аспирационные извещатели. Аспирационные пожарные извещатели помогают на ранних стадиях пожара обнаружить место его возникновения, а так же появляющиеся очаги горения. Следует отметить, что место возникновения пожара влияет на развитие опасных факторов пожара, что воздействует на время срабатывания системы пожарной сигнализации, так как извещатель реагирует на изменение физических показаний окружающей среды в контролируемой зоне, преобразуя полученные данные в электрические сигналы.

В заключение следует отметить, что использование аспирационных извещателей в системе пожарной сигнализации является

надежным элементом обеспечения пожарной безопасности в культурно-просветительских учреждениях. В случае слаженной работы системы пожарной сигнализации с инженерным оборудованием объекта и другими системами

противопожарной защиты повышается эффективность работы пожарных подразделений на месте пожара и уменьшается количество пострадавших и материальный ущерб.

Список литературы

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: статистический сборник. Под общей редакцией Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
2. World Fire Statistics / N. N. Brushlinsky, M. Ahrens, S. V. Sokolov [et al.]. CTIF. Center of Fire Statistics, 2020, issue 25. 67 p.

References

1. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: statisticheskiy sbornik*. Pod obshchey redaktsiyey D. M. Gordiyenko [Fire and fire safety in 2020: Statist collection]. M.: VNIIPPO, 2021, 112 p.
2. World Fire Statistics / N. N. Brushlinsky, M. Ahrens, S. V. Sokolov [et al.]. CTIF. Center of Fire Statistics, 2020, issue 25. 67 p.

Гукасян Седрак Альбертович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
обучающийся факультета подготовки инженерных и управленческих кадров
E-mail: 9055111313@mail.ru

Gukasyan Sedrak Albertovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
student of the Faculty of Engineering and Management Training
E-mail: 9055111313@mail.ru

Козлов Александр Александрович

Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России
Российская Федерация, г. Москва
заместитель начальника отдела
E-mail: dkac77@gmail.com

Kozlov Alexander Alexandrovich

Department of Supervision and Preventive Work of the Russian Federation of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters
Russian Federation, Moscow
deputy Division Chief
E-mail: dkac77@gmail.com

Сибиряков Максим Владимирович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, заместитель начальника учебно-научного комплекса
E-mail: M.Sibiryakov@academygps.ru

Sibiryakov Maxim Vladimirovich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Moscow Academy 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, Moscow
candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Educational and Scientific Complex
E-mail: M.Sibiryakov@academygps.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальностям журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.

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 задачи воздушно-механической пены;*
- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;
- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;
- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

– список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;

– список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

Материалы предоставляются по адресу:
Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Редакция журнала «Современные проблемы гражданской защиты»,
тел.: (4932) 93-08-00 доб. 5-60; e-mail: journal@edufire37.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 3 (44), 2022

16+

Дата выхода в свет 29.09.2022 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 14,13. Тираж 100 экз.
Заказ № 84. Цена свободная

Оригинал-макет подготовлен
Ивановской пожарно-спасательной академией ГПС МЧС России
АДРЕС РЕДАКЦИИ (ИЗДАТЕЛЯ): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33;
тел.: (4932) 93-08-00, доб. 1560; e-mail: journal@edufire37.ru

Отпечатано в АО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90