

4-2017

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ИССЛЕДОВАНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИК
МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ГИДРОГЕЛЕЙ ДЛЯ
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ
РЕЗЕРВУАРОВ
НЕФТЕПРОДУКТОВ



УЧРЕДИТЕЛЬ —

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Журнал издается с 1992 г., периодичность
выхода —

12 номеров в год.

СМИ зарегистрировано Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций —
свидетельство ПИ № ФС 77-43615 от 18
января 2011 г.

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией Корольченко О. Н.

Шеф-редактор Соколова Н. Н.

Редактор Крылова Л. В.

Адрес редакции:

121357, Россия, г. Москва,
ул. Вересаева, д. 10.

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

Тел./факс: (495) 228-09-03,
8 (909) 940-01-85.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru;
www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

Журнал включен в перечень ведущих рецензи-
руемых научных журналов и изданий, реко-
мендованных ВАК России для публикации
трудов соискателей ученых степеней, в Рефе-
ративный журнал и базы данных ВИНТИ РАН,
в базу данных Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian
Science Citation Index на платформе Web
of Science. Сведения о журнале ежегодно
публикуются в Международной справочной
системе по периодическим и продолжающимся
изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".
Переводные версии статей журнала входят
в Международный реферативный журнал
"Chemical Abstracts".

Перепечатка материалов журнала "Пожаро-
взрывобезопасность" только по согласованию
с редакцией. При цитировании ссылка
обязательна.

Авторы и рекламодатели несут ответственность
за содержание представленных в редакцию
материалов и публикацию их в открытой
печати.

Мнение редакции не всегда совпадает с мне-
нием авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 14.04.2017.

Выход в свет 25.04.2017.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "ДИАЛОГ"
(125315, г. Москва, Ленинградский просп.,
д. 80, корп. Г).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Национальный
исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Россия)

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Велико-
британия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (ВНИПО МЧС
России, Балашиха, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бакиров И. К., к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический
университет, Уфа, Россия, Республика Башкортостан)

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Уральский государственный аграрный универ-
ситет, Екатеринбург, Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН, заслуженный деятель
науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Бурханов А. И., д. ф.-м. н. (Волгоградский государственный технический уни-
верситет, Волгоград, Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Национальный исследовате-
льский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия)

Кузнецов С. В., д. ф.-м. н., профессор (Институт проблем механики им. А. Ю. Иш-
линского Российской академии наук, Москва, Россия)

Ложкин В. Н., д. т. н., профессор (Санкт-Петербургский университет Государ-
ственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург, Россия)

Малыгин И. Г., д. т. н., профессор (Институт проблем транспорта им. Н.С. Со-
ломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

Поландов Ю. Х., д. т. н., профессор (Орловский государственный университет
им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ, заслуженный
деятель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС
России, Москва, Россия)

Раимбеков К. Ж., к. ф.-м. н. (Кокшетауский технический институт Комитета по
чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан)

Рестас А. (Институт управления при ЧС Национального университета Государ-
ственной службы, Будапешт, Венгрия)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Академия Госу-
дарственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия)

Стрижак П. А., д. ф.-м. н. (Национальный исследовательский Томский политех-
нический университет, Томск, Россия)

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член ВАНКБ (Национальный
исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ, заслуженный
деятель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС
России, Москва, Россия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, ака-
демик ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия)

Чирик Р. М., д. т. н., профессор (Высшая техническая школа, Нови Сад, Сербия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Великобритания)

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ЕРЕМИНА Т. Ю., НАЗАРОВ А. А.
Предпосылки создания информационно-аналитической модели управления пожарной безопасностью на региональном уровне (на примере Республики Тыва)

6

МЕШАЛКИН Е. А., МЕДЯНИК М. В.
Нормативные требования к общественным зданиям и сооружениям по отношению к магистральным трубопроводам

15

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

СУНЦОВ Ю. К., СОРОКИНА Ю. Н., ЧУЙКОВ А. М.
Взаимосвязь энергии Гельмгольца с температурой вспышки веществ в гомологическом ряду n-алкиламинов

21

ОГНЕЗАЩИТА

КОРАБЛЕВ В. А., МИНКИН Д. А.,
ШАРКОВ А. В., РОМАНОВ Н. Н.
Тепловой режим огнезащитной шторы в условиях интенсивного теплового воздействия

29

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ГОРДЕЕВ Н. А., ГОДУНОВА Г. Н.
Обеспечение огнестойкости проемов для прокладки кабельных изделий в противопожарных преградах при использовании терморасширяющейся противопожарной пены и огнестойкой монтажной пены

37

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ИЩЕНКО А. Д., ХОЛОСТОВ А. Л.,
ТАРАНЦЕВ А. А., ЖУКОВ А. О.
Моделирование элементов логистики в чрезвычайных ситуациях на труднодоступных объектах

41

ПРИСАДКОВ В. И., УШАКОВ Д. В., ЛИЦКЕВИЧ В. В.,
ХАТУНЦЕВА С. Ю., СОБОЛЕВ Н. В.
Оценка риска опускания оболочки воздухоопорного сооружения при пожаре

50

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

ИВАНОВ А. В., МИХАЙЛОВА В. И.,
ИВАХНЮК Г. К., ДЕМЕХИН Ф. В.
Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов

58

ВОПРОС – ОТВЕТ

68

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

EREMINA T. Yu., NAZAROV A. A.
Basis of research and information model of fire safety management for territorial entity (for the Republic of Tyva)

MESHALKIN E. A., MEDYANIK M. V.
Standard requirements to public buildings and works in relation to the main pipelines

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

SUNTSOV Yu. K., SOROKINA Yu. N., CHUYKOV A. M.
Helmholtz energy interrelation with a flash point for compounds in homologous series of n-alkyl amines

FIRE RETARDANCE

KORABLEV V. A., MINKIN D. A.,
SHARKOV A. V., ROMANOV N. N.
Thermal regime of fire-protective curtaine at high intensive thermal action conditions

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

GORDEEV N. A., GODUNOVA G. N.
Fire resistance ensuring of structural openings for cablings in fire stop barriers whith using of the thermoexpansion fire-resistant foam and fire-resistant polyurethane foam

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ISHCHENKO A. D., KHOLOSTOV A. L.,
TARANTSEV A. A., ZHUKOV A. O.
Modeling of the elements of logistics in emergency situations on the distant objects

PRISADKOV V. I., USHAKOV D. V., LITSKEVICH V. V.,
KHATUNTSEVA S. Yu., SOBOLEV N. V.
Assessment of risk of lowering of the cover of the compressed-air supported construction at the fire

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

IVANOV A. V., MIKHAYLOVA V. I.,
IVAKHNYUK G. K., DEMEKHIN F. V.
Investigation of the characteristics of modified hydrogels for thermal protection of petroleum products tanks

QUESTION – ANSWER



ИАМ управления пожарной безопасностью региона

Стр. 6



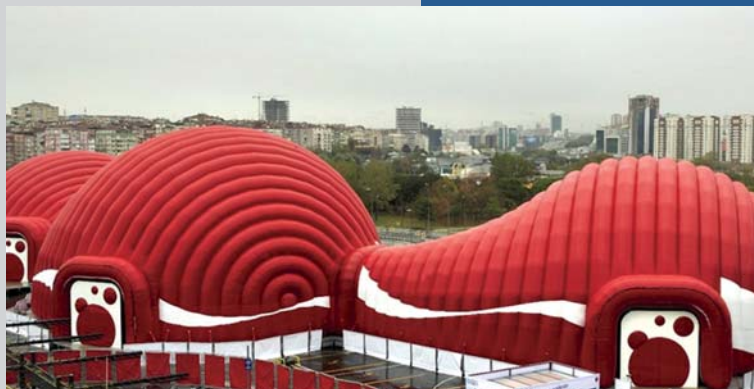
Применение терморасширяющейся противопожарной пены

Стр. 37



Доставка грузов на удаленные объекты в Арктике и Сибири

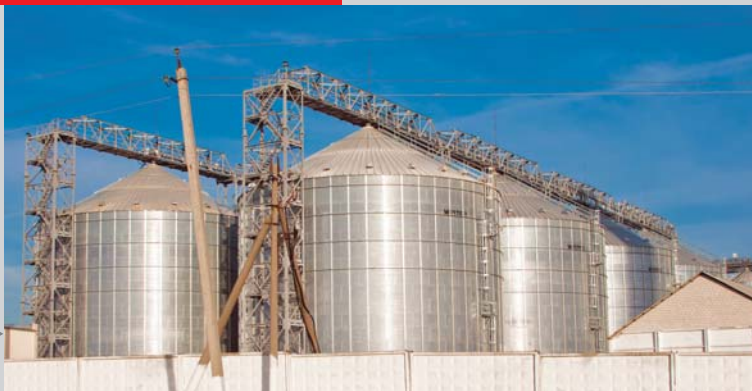
Стр. 41



Оценка риска опускания оболочки ВОС при пожаре

Стр. 50

Стр. 58



Модифицированные гидрогели для тепловой защиты резервуаров



FOUNDER —

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Journal founded in 1992,
issued 12 times per year.

Publication is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology, and Mass Media
of Russia. Registration certificate
PI No. FS 77-43615 on January 18, 2011.

EDITORIAL STAFF:

Chief of editorial staff **Korolchenko O. N.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Veresaeva St., 10, Moscow,
121357, Russia.

Corresponding to: Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

Phone/Fax: (495) 228-09-03,
8 (909) 940-01-85.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru;
www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion
Safety") is included in the List of periodical
scientific and technical publication, recommended
by Higher Attestation Commission of the Russian
Federation for publishing aspirants' works for
candidate and doctoral degree, in Abstracting
Journal and Database of VINITI RAS, in Russian
Science Citation Index. Information about
the journal is annually published in "Ulrich's
Periodicals Directory". English version of "Fire and
Explosion Safety" articles is included in Chemical
Abstract Service (CAS).

No part of this publication may be used or re-
produced in any form or by any means without
the prior permission of the Publishers. Repro-
ducing any part of this material a reference to
the journal is obligatory.

Authors and advertisers account for contents
of given papers and for publishing in the open
press.

Opinion of Editorial Staff not always coincides
with Author's opinion.

Signed for printing 14.04.2017.
Date of publication 25.04.2017.
Format is 60x84 1/8.
Printing is 2000 copies.
Chalk-overlay mat paper.
Offset printing.

Printed at "DIALOG", Ltd.
(Leningradskiy Avenue, 80, build. G,
Moscow, 125315, Russian).

EDITOR-IN-CHIEF:

Korolchenko A. Ya., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of International Academy of
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Molkov V. V., Dr. Tech. Sci., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

Shebeko Yu. N., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire
Science (All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia,
Balashikha, Russia)

EDITORIAL BOARD:

Bakirov I. K., Cand. Tech. Sci. (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa,
Russia, Republic of Bashkortostan)

Barbin N. M., Dr. Tech. Sci., Professor (Urals State Agrarian University, Yekaterinburg,
Russia)

Brushlinskiy N. N., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of
Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (State Fire Academy of
Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Burkhanov A. I., Dr. Phys.-Math. Sci. (Volgograd State Technical University, Volgo-
grad, Russia)

Korolchenko D. A., Cand. Tech. Sci., Academician of International Academy of
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

Kuznetsov S. V., Dr. Phys.-Math. Sci., Professor (A. Ishlinsky Institute for Problems in
Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Lozhkin V. N., Dr. Tech. Sci., Professor (Saint Petersburg University of State Fire Service
of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russia)

Malygin I. G., Dr. Tech. Sci., Professor (Solomenko Institute of Transport Problems of
the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia)

Polandov Yu. Kh., Dr. Tech. Sci., Professor (Orel State University named after I. Tur-
genev, Orel, Russia)

Puzach S. V., Dr. Tech. Sci., Professor, Corresponding Member of National Academy of
Fire Science (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Raimbekov K. Zh., Cand. Phys.-Math. Sci. (Kokshetau Technical Institute, Committee
of Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan)

Restas A., Ph. D. (National University of Public Service, Institute of Disaster Manage-
ment, Budapest, Hungary)

Serkov B. B., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire Science
(State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Strizhak P. A., Dr. Phys.-Math. Sci. (National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia)

Tamrazyan A. G., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of World Academy of Sciences
for Complex Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

Topolskiy N. G., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Natural
Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of
the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Kholshchevnikov V. V., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician and Honoured Member
of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of World Academy of Sciences
for Complex Safety, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

Ciric R. M., Ph. D., Professor (The Higher Technical School of Professional Studies, Novi
Sad, Serbia)

Shields T. J., Ph. D., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)



ХОЛЩЕВНИКОВУ Валерию Васильевичу 80 лет

19 апреля 2017 г. **Валерию Васильевичу ХОЛЩЕВНИКОВУ**, доктору технических наук, профессору, профессору кафедры “Пожарная безопасность в строительстве” Академии ГПС МЧС России, ведущему научному сотруднику Института комплексной безопасности в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, исполнилось **80 лет!**

В. В. Холщевников является экспертом Республиканского исследовательского научно-консультационного центра экспертизы (РИНКЦЭ) Министерства образования и науки РФ в области безопасности в чрезвычайных ситуациях (эвакуация людей) и архитектурно-строительного проектирования (функциональные процессы в зданиях и сооружениях), а также почетным членом Российской академии естественных наук и вице-президентом Всемирной академии наук комплексной безопасности.

Холщевников — лидер научной школы “Теория людских потоков”, крупный ученый-специалист в области нормативного регулирования путей эвакуации в зданиях (сооружениях). В область его научных интересов входят проблемы оптимизации функциональных процессов в зданиях (сооружениях), новые несущие и ограждающие конструкции; охрана и реконструкция зданий — памятников архитектуры и истории; методология математического моделирования; психофизиология и психофизика.

Валерий Васильевич впервые обобщил и проанализировал обширный статистический материал, накопленный в процессе многочисленных натурных и экспериментальных исследований людских потоков в зданиях и на территории их комплексов. В результате им была установлена закономерность связи между параметрами людских потоков (диплом 24-S на открытие в области социальной психологии); разработаны математическое описание людского потока как случайного процесса и имитационно-стохастическая модель движения людских потоков; создана методология расчета размеров путей эвакуации и эвакуационных выходов для целей нормирования в строительстве. Это реализовано в ряде нормативных документов, в “Концепции пожарной безопасности Московского международного делового центра “Москва-Сити”, при экспертизе проектов строительства комплексов высотных жилых и общественных зданий в Москве и Санкт-Петербурге, а также при проектировании крупнейших Олимпийских сооружений в Москве, гостиничного комплекса “Дагомыс”, при реконструкции Казанского вокзала в Москве, комплекса МИСИ на Ярославском шоссе.

Холщевников — автор более 150 научных трудов. Среди них “Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из здания при пожаре”, “Моделирование людских потоков”, “Климат местности и микроклимат помещений”, “Комплексная оценка зданий-памятников на рынке недвижимости”, “Эвакуация и поведение людей при пожаре”, “Натурные наблюдения людских потоков”.

Президентом Российской Федерации В. В. Холщевникову присвоено почетное звание “Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации”. Он является “Почетным работником науки и техники Российской Федерации”.

Валерий Васильевич пользуется заслуженным уважением и любовью коллег, сподвижников и друзей.

*Желаем юбиляру новых успехов, крепкого здоровья
и многих лет плодотворной работы
на благо науки!*

Т. Ю. ЕРЕМИНА, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: main@stopfire.ru)

А. А. НАЗАРОВ, начальник Главного управления МЧС России по Республике Тыва (Россия, 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Щетинкина-Кравченко, 44)

УДК 614.0.06

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА)

Проанализированы факторы риска инфраструктуры, формирующие угрозу безопасности населения, в том числе пожарной безопасности, на региональном уровне. Приведен анализ проблемы на примере Республики Тыва. Рассмотрены способы предотвращения риска и управления факторами риска. Предложена основа информационно-аналитической модели управления пожарной безопасностью региона. Проанализированы международные нормативные документы, регламентирующие управление рисками административно-территориальных субъектов. Проведен сравнительный анализ предложенной информационно-аналитической модели и плана снижения уровня риска.

Ключевые слова: информационно-аналитическая модель; управление безопасностью на региональном уровне; идентификация риска; мониторинг факторов риска; план снижения риска.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.6-14

Введение

В работе проанализированы предпосылки создания информационно-аналитической модели (ИАМ) управления пожарной безопасностью на региональном уровне, проведено исследование инфраструктуры субъекта Российской Федерации как совокупности отраслей, предприятий и организаций, призванных обеспечивать, создавать условия для нормального функционирования производства и обращения товаров, а также жизнедеятельности людей. Предметом исследования являются факторы риска инфраструктуры, формирующие угрозу безопасности населения, в том числе пожарной.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки ИАМ управления пожарной безопасностью региона, способной при наличии различного рода угроз (природного, техногенного, биолого-социального, экологического и другого характера) для инфраструктуры субъекта Российской Федерации (жилых, общественных и административных зданий, объектов промышленного и сельскохозяйственного производства, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, технических сооружений и систем коммунального хозяйства (водо-, газо-, тепло-, электроснабжения и др.), систем водоотве-

дения, природных ресурсов и др.) стать эффективным инструментом предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), обеспечения высокого уровня социально-экономического развития субъекта и качества жизни населения [1–5].

Разработка ИАМ управления безопасностью для обеспечения высокого уровня социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и качества жизни населения на данной территории проводится в рамках реализации Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса “Безопасный город” [6]. Такая модель включает мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий аварий, природных стихийных бедствий, катастроф.

Цели и задачи исследования

В статьях [7, 8] приведен краткий анализ нормативных понятий и определений аппаратно-программного комплекса (АПК) “Безопасный город” и рассмотрены подходы к развитию нового понятия АПК “Безопасный субъект Российской Федерации”. Такой анализ позволяет систематизировать основные характеристики субъекта, выявить факторы риска

и разработать мероприятия по снижению потенциального риска.

Выделенные в ходе анализа района объекты тщательно изучаются с целью выявления потенциальных рисков, в том числе в области пожарной безопасности. Каждый установленный опасный фактор необходимо включать в оценку риска и учитывать при разработке ИАМ управления безопасностью.

Материалы и методы

Для разработки ИАМ управления безопасностью систематизируется информация о делении субъекта Российской Федерации на административно-территориальные единицы с описанием и анализом стратегически важных и критически важных объектов (см. таблицу) [9]. Особое внимание при разработке модели снижения уровня риска уделяется анализу зданий, сооружений с массовым пребыванием людей (объектов повышенного риска) в составе субъекта. К объектам повышенного риска относятся также уникальные объекты (объекты культурного наследия,

аэропорты, объекты топливно-энергетического комплекса и т. п.).

Таким образом, для разработки ИАМ управления безопасностью проводится анализ нормативно-правовых документов, который позволяет выделить следующие *основные характеристики субъектов*, на основе которых выполняется оценка риска:

- границы и состав территории, географическое положение;
- исторические, природные и культурные особенности;
- демографическая ситуация;
- основные отрасли в экономике;
- градообслуживающая сфера (жилищно-коммунальный комплекс, транспортный комплекс, строительный комплекс, службы безопасности, комплекс потребительского рынка: торговля, общественное питание, бытовое обслуживание населения);
- социальная сфера;
- инвестиционная сфера.



Рис. 1. Основные сведения о субъекте

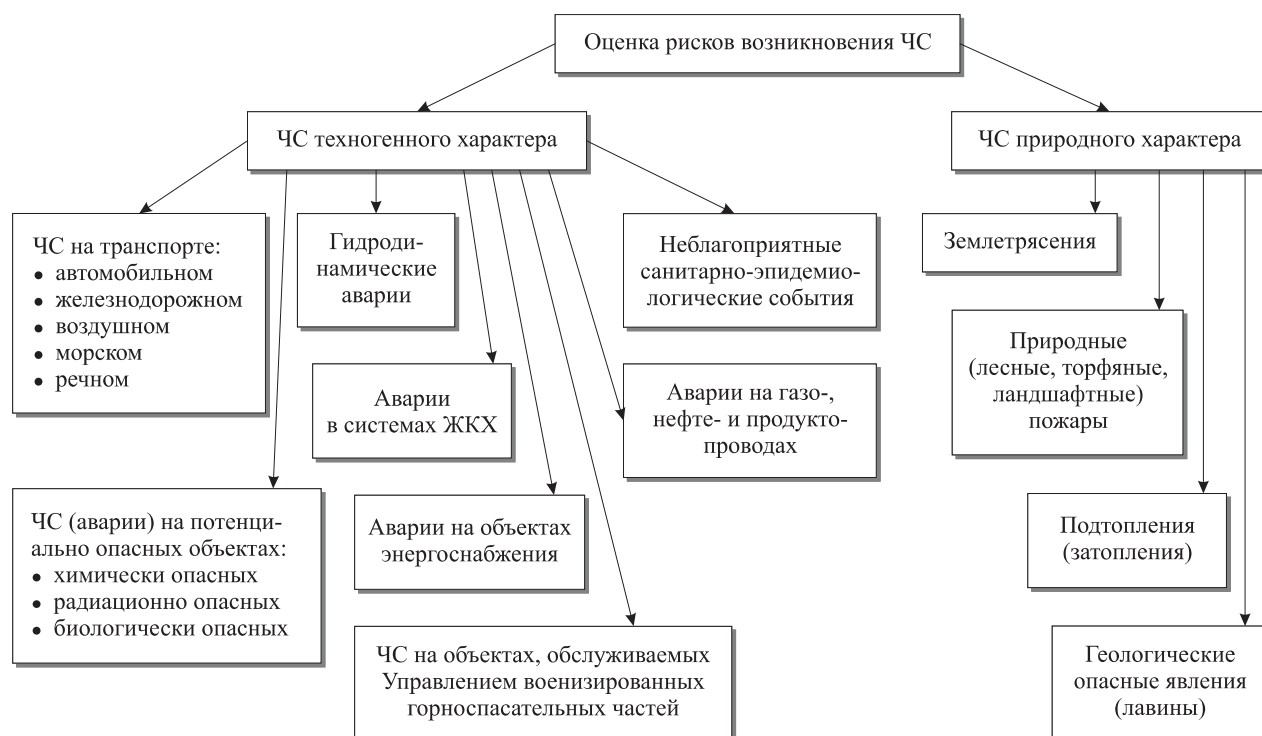


Рис. 2. Риски возникновения чрезвычайных ситуаций

Информация об административно-территориальных единицах (районах) Республики Тыва

Район	Географическое положение и характеристика	Границы и состав территории	Основные отрасли в экономике	ЖКХ				Социальная сфера
				Транспортный комплекс	Строительный комплекс	Служба безопасности	Комплекс потребительского рынка	
г. Кызыл (административный центр Республики Тыва)	В Тувинской котловине, у места слияния рек Большого и Малого Енисея, в точке географического центра Азии. Площадь территории — 97,4 км ² . Численность населения — 115 871 чел.	Состав: несколько микрорайонов — Центральный, Горный, Южный, Восточный и Правобережный; 3 удаленные части — Строитель, Спутник и Ближний Каа-Хем	Обрабатывающая — 15,8 %; добыча полезных ископаемых — 39 %; энергетические предприятия — 45,2 %. Специализация: сельскохозяйственное хозяйство, животноводство	Главный транспортный узел республики, имеющий автобусное, речное и авиасообщение со всеми районами (кожуунами). Автотрасса А162 и федеральная автотрасса М54, связывающая Кызыл с Абаканом и Монголией. Аэропорт “Кызыл”: регулярное сообщение с Красноярском, Новосибирском, Иркутском и Москвой. Планируется строительство железной дороги Курагино — Кызыл. 31 АЗС	В 2015 г. позитивная динамика развития: объемы строительных работ выросли на 16,8 % и составили 5,04 млрд. руб.; введено 86,2 тыс. м ² жилья с ростом к уровню 2014 г. на 9,4 %. Рост конкурентоспособности строительной отрасли	ГАУ РТ “Авиалесохрана” (перевозка личного состава, перевозка грузов, тушение лесных пожаров, эвакуация пострадавших, проведение разведки, поиск воздушных и речных судов)	4 рынка и 840 магазинов	3 вуза; 15 средних школ; 32 детских сада; 6 домов детского творчества; 2 музыкальные школы; 3 спортивных школы; 1 дом престарелых; 3 детских дома; 15 городских больниц; 2 детские больницы; 2 родильных дома; 32 аптек пункта
Эрзинский район	В юго-восточной части республики. Площадь территории — 10 830 км ² . Численность населения — 8 280 чел. Административный центр — с. Эрзин	Границы: на востоке — с Тере-Хольским районом, на севере — с Каа-Хемским, на северо-западе — с Тес-Хемским, на юге — с Монголией. Состав: 6 населенных пунктов	Специализация: сельскохозяйственное хозяйство	Федеральная автомагистраль М54 “Енисей”. 7 АЗС	—	Муниципальное звено территориальной подсистемы МЧС	36 магазинов	6 средних школ; 7 детских садов; 1 дом детского творчества; 1 музыкальная школа; 1 спортивная школа; 1 районная больница; 1 аптекарский пункт; 6 клубов

Улут-Хемский район	В центральной части республики. Площадь территории — 5 335 км ² . Численность населения — 18 937 чел. Административный центр — г. Шагонар	Границы: на востоке — с Чеди-Хольским районом, на юго-востоке — с Тес-Хемским, на юге — с Овюрским, на юго-западе — с Барун-Хемчикским, на западе — с Дзун-Хемчикским, на северо-западе — с Чаа-Хольским, на севере — с Красноярским краем. Водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС в долине р. Енисей. Водозабор — г. Шагонар. Состав: 10 населенных пунктов	2 потенциально опасных объекта	Автомобильная дорога с усовершенствованным покрытием Чадан – Кызыл, остальные — с шебеночным и гравийным покрытием. 7 АЗС	–	Муниципальное звено территориальной подсистемы МЧС	96 магазинов	13 образовательных учреждений; 12 детских садов; 1 дом престарелых; 1 ЦРБ; 1 поликлиника; 3 участковые больницы; 3 аптекарских пункта; 11 клубов
Тес-Хемский район	На юге республики. Площадь территории — 3 745 км ² . Численность населения — 8 266 чел. Административный центр — с. Самагалтай	Границы: на юго-востоке — с Эрзинским районом, на востоке — с Каа-Хемским, на северо-востоке — с Тандинским, на севере — с Чеди-Хольским, на западе — с Овюрским. Состав: 8 населенных пунктов	Специализация: сельскохозяйственное	Федеральная трасса М54 "Енисей" (на востоке района). 4 АЗС	–	Муниципальное звено территориальной подсистемы МЧС	26 магазинов	8 средних школ; 10 детских садов; 1 музыкальная школа; 1 спортивная школа; 1 районная больница; 2 аптекарских пункта; 7 клубов
Чеди-Хольский район	В центральной части республики. Площадь территории — 3 706 км ² . Численность населения — 7 712 чел. Административный центр — с. Хову-Аксы	Границы: на востоке — с Тандинским районом, на юге — с Тес-Хемским, на западе — с Улут-Хемским, на северо-востоке — с Кызылским. Состав: 7 населенных пунктов	Специализация: сельское хозяйство. Ориентация на животноводство	Автомобильная дорога с усовершенствованным покрытием Хову-Аксы – Кызыл, остальные — с шебеночным и гравийным покрытием. 3 АЗС	–	Муниципальное звено территориальной подсистемы МЧС	28 магазинов	8 средних школ; 8 детских садов; 1 музыкальная школа; 1 спортивная школа; 1 дом престарелых; 1 районная больница; 2 аптекарских пункта; 5 клубов

Окончание таблицы

Район	Географическое положение и характеристика	Границы и состав территории	Основные отрасли в экономике	ЖСХ				Социальная сфера
				Транспортный комплекс	Строительный комплекс	Служба безопасности	Комплекс потребительского рынка	
Тереховский район	На юго-востоке республики. Площадь территории — 1 005 км ² . Численность населения — 1 879 чел. Административный центр — с. Кунгуртут	Границы: на севере — с Каа-Хемским районом, на западе — с Эрзинским, на востоке — с Монголией. Состав: 4 населенных пункта	Специализация: сельское хозяйство	Тропы, проложенные для движения вьючного транспорта. Крутые перевалы, ограничивающие движение. Время использования — с апреля по октябрь. Зимняя дорога (по льду р. Малый Енисей) от с. Сарыг-Сеп (Каа-Хемский район) до с. Кунгуртут протяженностью 350 км. Летняя грунтовая дорога через с. Нарын (Эрзинский район) до с. Кунгуртут протяженностью 545 км	—	Муниципальное звено территориальной подсистемы МЧС	7 магазинов	1 средняя школа; 1 детский сад; 1 музыкальная школа; 1 районная больница; 1 клуб
Чаа-Хольский район	Площадь территории — 2 903 км ² . Численность населения — 6 058 чел. Административный центр — с. Чаа-Холь	Границы: на севере — с Красноярским краем, на западе — с Суг-Хольским районом, на востоке — с Улуг-Хемским, на юге — с Овюрским. Состав: 5 населенных пунктов	Специализация: сельское хозяйство. Ориентация на животноводство	Асфальтированная дорога протяженностью 189 км, связывающая с г. Кызылом. 2 АЗС	—	Муниципальное звено территориальной подсистемы МЧС	48 магазинов	4 средних школы; 4 детских сада; 1 школа искусств; 1 спортивная школа; 1 ЦКБ; 2 ФАП; 4 клуба

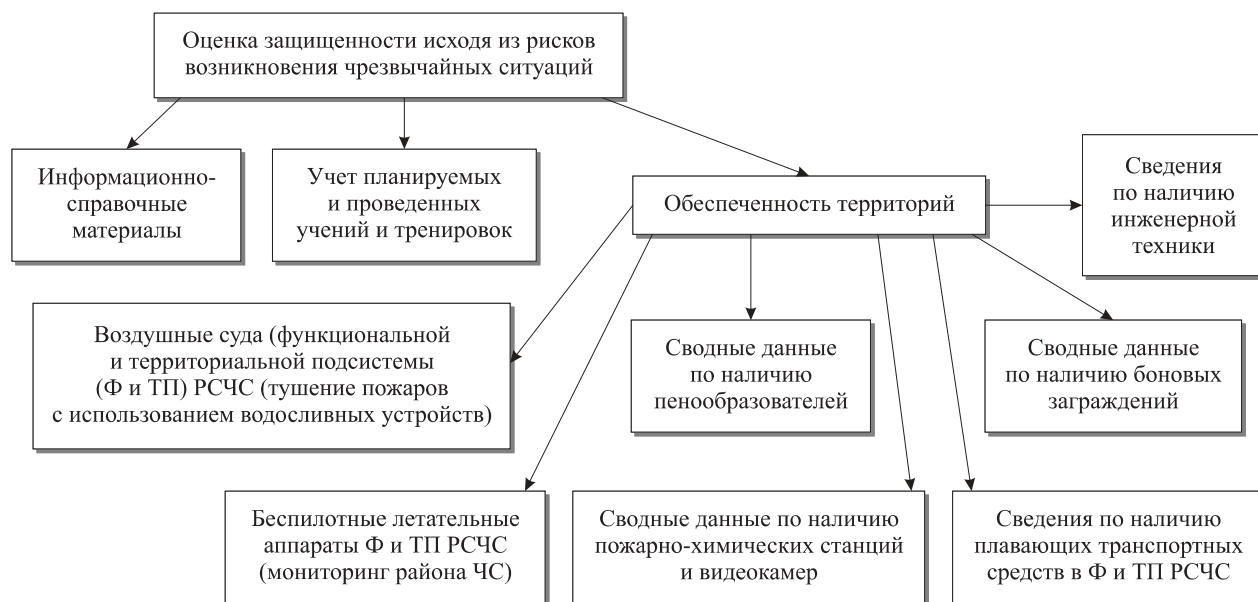


Рис. 3. Оценка защищенности на основе рисков возникновения ЧС

Проводя сравнительный анализ российских и международных нормативных документов в данной области [10–13], необходимо отметить, что Техническим комитетом Национальной ассоциации пожарной безопасности США (NFPA) разработан стандарт NFPA 1250 “Recommended Practice in Fire and Emergency Service Organization Risk Management” (Практические рекомендации по управлению рисками для служб оказания помощи населению в чрезвычайных ситуациях), а в настоящее время разрабатывается проект стандарта NFPA 1300 “Standard for Community Risk Reduction (CRR) Plans” (Стандарт плана снижения риска для сообществ).

Проект стандарта NFPA 1300 предполагает, что оценка риска сообщества (ОРС) проводится аккредитованными организациями один раз в пять лет или чаще, если происходят изменения, которые влияют на первоначальную оценку. Результаты оценки, включая актуальные изменения, распространяются между заинтересованными юридическими и физическими лицами.

При ОРС должны учитываться следующие характеристики сообщества:

- 1) демография;
- 2) география;
- 3) состояние жилого фонда;



Рис. 4. Информационно-справочные материалы по обеспечению безопасности

- 4) реагирование аварийных служб;
- 5) неаварийные организации и учреждения;
- 6) угрозы;
- 7) экономика.

Данные, полученные в результате расследования несчастных случаев, должны включаться в ОРС. Все заинтересованные стороны должны периодически обновлять информацию об управлении рисками, с которыми сталкивается сообщество.

Выявленные риски должны быть сгруппированы по вероятности возникновения и их последствиям.

Стандарт NFPA 1250 предлагает следующий план управления рисками при оценке пожарной безопасности объекта:

- идентификация рисков (кто подвержен такому риску; статистические данные прошлых лет);
- оценка рисков (частота возникновения опасного события; последствия — жертвы, убытки);

- определение последовательности действий по работе с выявленными рисками;
- исключение или контроль опасных факторов.

Авторами предлагается новая ИАМ управления безопасностью на региональном уровне (рис. 1–4).

Заключение

Проведенное исследование позволяет систематизировать основную информацию по разработке ИАМ управления пожарной безопасностью для обеспечения высокого уровня социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и качества жизни населения на его территории; предотвращения аварий, природных стихийных бедствий, катастроф; минимизации числа потерь человеческих жизней, ущерба здоровью людей и окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Вагнер П., Коломиец Ю. И. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : ФАЗИС, 2004. — 172 с.
2. Прус Ю. В., Колесникова А. Р., Клепко Е. А., Шаповалов В. М. Моделирование структуры и динамики техногенных и пожарных рисков в социотехнических системах // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2014. — № 4(56). — 12 с. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_23105883_25207497.pdf (дата обращения: 10.03.2017).
3. Бутузов С. Ю., Прус Ю. В., Смирных Е. В., Рыженко Н. Ю., Рыженко А. А., Эльтемерова О. В. Концепция формирования единой системы информирования и оповещения населения средствами МЧС России : сборник трудов / Под общ. ред. С. Ю. Бутузова. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 163 с.
4. Качанов С. А., Тетерин И. М., Топольский Н. Г. Информационные технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2006. — 212 с.
5. Митько В., Зимин Н., Митько А. Безопасность на региональном уровне. Принципы создания интегральных систем мониторинга обстановки // Новый оборонный заказ. Стратегии. — 2013. — № 2 (24). — С. 44–47.
6. Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса “Безопасный город” : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.12.2014 № 2446-р. URL: <http://poisk-zakona.ru/278009.html> (дата обращения: 10.03.2017).
7. Еремина Т. Ю., Назаров А. А. Некоторые аспекты создания аппаратно-программных комплексов “Безопасный город” и “Безопасный субъект Российской Федерации” // Пожарная безопасность. — 2016. — № 1. — С. 138–144.
8. Еремина Т. Ю., Назаров А. А. Идентификация и снижение рисков в рамках разработки комплекса “Безопасный субъект Российской Федерации” // Пожарная безопасность. — 2016. — № 3. — С. 121–129.
9. О мерах по реализации на территории Республики Тыва Концепции построения, внедрения и эксплуатации аппаратно-программного комплекса “Безопасный город” : постановление Правительства Республики Тыва от 10.12.2015 № 556 (ред. от 06.04.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/432884184> (дата обращения: 10.03.2017).
10. CTIF Meeting: Fire Prevention Commission, Boston, 12–14 May 2015. URL: http://www.ctif.org/sites/default/files/news/files/meeting_minutes_boston_2015.pdf (дата обращения: 06.03.2017).
11. Taufika Ophiyandri. Project risk management for community-based post-disaster housing reconstruction. Ph. D. Thesis. University of Salford, Salford, UK, 2013. 317 p.

12. *Shesh Kanta Kafle, Zubair Murshed*. Participant's workbook. Community-based disaster risk management for local authorities. — Bangkok, Thailand : ADPC, 2006. — 159 p. URL: http://www.unisdr.org/files/3366_3366CBDRMShesh.pdf (дата обращения: 10.03.2017).
13. *Casals J.* Community based disaster risk management project, Bangladesh. Final Evaluation Report, 2007. URL: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan050297.pdf> (дата обращения: 10.03.2017).

Материал поступил в редакцию 17 марта 2017 г.

Для цитирования: Еремина Т. Ю., Назаров А. А. Предпосылки создания информационно-аналитической модели управления пожарной безопасностью на региональном уровне (на примере Республики Тыва) // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 6–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.6-14.

English

BASIS OF RESEARCH AND INFORMATION MODEL OF FIRE SAFETY MANAGEMENT FOR TERRITORIAL ENTITY (FOR THE REPUBLIC OF TYVA)

EREMINA T. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Research Scientist of Management Issues Academic Organization of Firefighting Service Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: main@stopfire.ru)

NAZAROV A. A., Head of Tyva Republic Directorate of Emercom of Russia (Shchetinkina-Kravchenko St., 44, Kyzyl, 667000, Russian Federation, Tyva Republic)

ABSTRACT

Basis of research and information model of fire safety management for territorial entity is analyzed in this work. Subject infrastructure is considered as a complex of industry sectors, manufacturers and organizations. The research is focused on risk factors of the infrastructure which endanger the safety, including fire safety.

Main characteristics of the subjects, which can determine risk factor and develop risk prevention measures, are described. Factors are investigated in details to determine potential risks, including fire risks. Each factor should be included in risk assessment and taken into account for development of safety management model.

Information on territorial entities is classified for development of safety management model, and strategic infrastructures and objects of critical importance are described and analyzed. Special focus is on facilities with large places of assembly (objects of high risk) in the subject. Also special objects (cultural heritage objects, airports, objects of fuel & energy complex) are considered as objects of high risk.

Case study for development of research and information model of safety management is considered for Tyva Republic. Information on risks of technogenic and natural disasters is analyzed based on territory passports, characteristics of republic industry, energetic complex, transport are considered. All special objects are included in this report: places of large assembly, objects with high risks. Schemes of communication, organizing connection and management, emergency response are developed.

Comparative analysis of Russian and international normative documents with requirements for risk assessment and risk prevention and reduction measures is performed in the work. International standards for risk management in regions suggest risk probability and risk consequences assessment, then the procedure for identified risk prevention, control and management is developed.

Keywords: research and information model; fire safety management for territorial entity; risk identification; risk aspect monitoring; risk reduction plan.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Alekhin E. M., Wagner P., Kolomiyets Yu. I. *Bezopasnost gorodov. Imitatsionnoye modelirovaniye gorodskikh protsessov i sistem* [City safety. Simulation modeling of city processes and systems]. Moscow, FAZIS Publ., 2004. 172 p. (in Russian).
2. Prus Yu. V., Kolesnikova A. R., Klepko E. A., Shapovalov V. M. Modeling the structure and dynamics of anthropogenic and fire risk in socio-technical systems. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal / Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2014, no. 4(56). 12 p. (in Russian). Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_23105883_25207497.pdf (Accessed 10 March 2017).
3. Butuzov S. Yu. (ed.), Prus Yu. V., Smirnykh E. V., Ryzhenko N. Yu., Ryzhenko A. A., Eltemerova O. V. *Kontseptsiya formirovaniya yedinoi sistemy informirovaniya i opoveshcheniya naseleniya sredstvami MChS Rossii* [Conception of integrated system for informing and warning people by Emercom of Russia]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014. 163 p. (in Russian).
4. Kachanov S. A., Teterin I. M., Topolskiy N. G. *Informatsionnyye tekhnologii preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy* [Information technology for prevention and control of emergencies]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2006. 212 p. (in Russian).
5. Mitko V., Zimin N., Mitko A. Security and safety at regional level. Principles of building integrated situation monitoring systems. *Novyy oboronnyy zakaz. Strategii / New Defense Order. Strategy*, 2013, no. 2(24), pp. 48–49.
6. *Conception of implementation and development of hardware and software complex “Safe city”*. Russian Federation Governmental Regulation on 03.12.2014 No. 2446-r (in Russian). Available at: <http://poisk-zakona.ru/278009.html> (Accessed 10 March 2017).
7. Eremina T. Yu., Nazarov A. A. Some aspects of creation of hardware and software complexes “Safe city” and “Safe subject of the Russian Federation”. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2016, no. 1, pp. 138–144 (in Russian).
8. Eremina T. Yu., Nazarov A. A. Identification and risk reduction within elaboration of the complex “Safe subject of the Russian Federation”. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2016, no. 3, pp. 121–129 (in Russian).
9. *On realization of conception of development, implementation and exploitation of hardware and software complex “Safe city” in Tyva Republic*. Tyva Republic Government Regulation on 10.12.2015 No. 556 (ed. 06.04.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/432884184> (Accessed 10 March 2017).
10. *CTIF Meeting: Fire Prevention Commission, Boston, 12–14 May 2015*. Available at: http://www.ctif.org/sites/default/files/news/files/meeting_minutes_boston_2015.pdf (Accessed 6 March 2017).
11. Taufika Ophiyandri. *Project risk management for community-based post-disaster housing reconstruction*. Ph. D. Thesis. University of Salford, Salford, UK, 2013. 317 p.
12. Shesh Kanta Kafle, Zubair Murshed. *Participant’s workbook. Community-based disaster risk management for local authorities*. Bangkok, Thailand, ADPC, 2006. 159 p. Available at: http://www.unisdr.org/files/3366_3366CBDRMShesh.pdf (Accessed 10 March 2017).
13. Casals J. *Community based disaster risk management project, Bangladesh. Final Evaluation Report, 2007*. Available at: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan050297.pdf> (Accessed 10 March 2017).

For citation: Eremina T. Yu., Nazarov A. A. Basis of research and information model of fire safety management for territorial entity (for Tyva Republic). *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 6–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.6-14.

Е. А. МЕШАЛКИН, д-р техн. наук, профессор, директор ООО “Пульс-Пожстрой Инжиниринг” (Россия, 107113, г. Москва, ул. Маленковская, 32, стр. 3; e-mail: Meshalkin@npopuls.ru)

М. В. МЕДЯНИК, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: mihalmed@yandex.ru)

УДК 65.012.16

НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЩЕСТВЕННЫМ ЗДАНИЯМ И СООРУЖЕНИЯМ ПО ОТНОШЕНИЮ К МАГИСТРАЛЬНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

Выявлены основные проблемы при нормировании минимально допустимых расстояний между магистральными трубопроводами и общественными зданиями и сооружениями. Рассмотрены причины возникновения противоречий и нормативных коллизий на разных стадиях существования объектов защиты. Проанализированы основные нормативные положения, регулирующие нормирование минимально допустимых расстояний между различными объектами защиты. Рассмотрен существующий порядок разработки и согласования специальных технических условий применительно к проблематике проектирования, строительства и эксплуатации объектов защиты, исходя из необходимости соблюдения минимально допустимых расстояний между различными объектами защиты. Приведены обоснования и предложения по разрешению спорных ситуаций.

Ключевые слова: проектирование; минимально допустимые расстояния; общественные здания; магистральный трубопровод; специальные технические условия.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.15-20

Введение

При проектировании, строительстве и даже на стадии эксплуатации объектов защиты общественного назначения, в особенности торгово-развлекательных комплексов и прочих многофункциональных объектов, достаточно часто имеет место проблема их размещения на территории крупных городов нашей страны, в том числе Новой Москвы (как собственно самих общественных зданий, так и предназначенных для их обслуживания и функционирования плоскостных автостоянок, сооружений тепло-, водо- и энергоснабжения и т. п.) с отступлениями от требований соответствующих сводов правил (СП 36.13330.2012 [1], СП 4.13130.2013 [2] и др.) по соблюдению минимально допустимых расстояний (далее — МДР) от оси магистральных нефте- и газопроводов диаметром 300 мм и более до объекта защиты. Положение дел не спасает даже разработка специальных технических условий (СТУ), призванных обосновать принятые МДР с учетом специфики конкретного объекта, и последующее согласование их с органами МЧС России и Минстроя России. Все большее распространение получает практика рассмотрения соответствующих споров в судебных инстанциях, причем зачастую с требованием истца по сносу (де-

монтажу) завершенных строительством или уже эксплуатируемых зданий и сооружений, даже частично попадающих в зону МДР.

С учетом изложенного, а также фактов некомпетентного применения при таких спорах требований федерального законодательства и нормативных документов авторами ставится задача сформулировать необходимые обоснования, которые окажутся полезными в практике применения требований нормативно-правовых документов (далее — НПД) или при разрешении возникающих спорных ситуаций.

Экспертиза требований НПД

1. Часто используемое собственниками и эксплуатирующими организациями утверждение относительно обязательности применения положений СНиП 2.05.06–85* [3], СП 36.13330.2012 [1] в части необходимости безусловного соблюдения установленных в этих нормах минимально допустимых расстояний противоречит ч. 3 ст. 7 ФЗ № 184 [4]. Согласно ей “не включенные в технические регламенты требования... не могут носить обязательный характер”. По вполне очевидным основаниям в действующих технических регламентах требования по МДР практически отсутствуют, подтверждением чего яв-

ляется активно продолжающийся процесс признания утратившими силу требований (в форме таблиц) даже по противопожарным расстояниям(!) в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ) (далее — ФЗ № 123) [5].

2. В случае применения к спорным правоотношениям положения СП 36.13330.2012 [1] не учитывается основополагающее требование примечания 1 к табл. 4 (обязательное требование в соответствии с Перечнем, утвержденным постановлением Правительства РФ № 1521 [6]). Согласно этому требованию “расстояния следует принимать: для городов и других населенных пунктов — от проектной городской черты на расчетный срок 20–25 лет; для отдельных промышленных предприятий, железнодорожных станций, аэродромов, морских и речных портов и пристаней, гидротехнических сооружений, складов горючих и легковоспламеняющихся материалов, артезианских скважин — от границ отведенных им территорий с учетом их развития; для железных дорог — от подошвы насыпи или бровки выемки со стороны трубопровода, но не менее 10 м от границы полосы отвода дороги; для автомобильных дорог — от подошвы насыпи земляного полотна...”.

Таким образом, с учетом введения в эксплуатацию многих магистральных трубопроводов еще в 70–90-е годы прошлого века значения МДР для них должны были быть пересмотрены их собственниками до 2000 г. или в более поздние сроки в случае фактических изменений границ городов и других населенных пунктов. Причем это должно было осуществляться по согласованию с органами местного самоуправления, а не наоборот, т. е. на стадии принятия решения о выделении земельных участков для обеспечения жизнедеятельности населения соответствующих населенных пунктов согласно требованиям ст. 31, 32 и 33 Градостроительного кодекса РФ [7].

3. При использовании ссылок на требования СП 36.13330.2012 [1] в качестве обоснования не принимается во внимание обязательное к применению [6] требование п. 1.1 СП 36.13330.2012 [1], согласно которому “настоящий свод правил распространяется на проектирование новых и реконструируемых магистральных трубопроводов и ответвлений от них номинальным диаметром до DN 1400 включительно, с избыточным давлением среды свыше 1,2 до 10 МПа включительно (при одиночной прокладке и прокладке в технических коридорах)...”.

Таким образом, с учетом развития границ городов и других населенных пунктов соблюдение минимально допустимых расстояний следует обеспечивать на стадии реконструкции за счет собственников этих трубопроводов или, возможно, по их

договоренности с иными заинтересованными сторонами.

4. На стадии многолетней эксплуатации упомянутых магистральных трубопроводов следует обеспечивать исполнение, в частности, положений ч. 8 и 11 ст. 55.24 (о возникновении аварийных ситуаций или возникновении такой угрозы) и ч. 7 ст. 55.25 (об извещении о каждом случае возникновения аварийных ситуаций органов местного самоуправления) Градостроительного кодекса РФ [7], однако на практике информация об обращениях в орган местного самоуправления о наличии соответствующих нарушений часто отсутствует.

5. Исходя из практического опыта иногда ставится под сомнение обоснованность положительного заключения государственной экспертизы, которая должна проводиться в полном соответствии с ч. 4.2 ст. 49, ч. 5 и 5.1 ст. 6, ст. 48.1 и ст. 49 Градостроительного кодекса РФ [7]. При этом согласно ч. 9 и 10 ст. 49 [7] только отрицательное заключение может быть оспорено застройщиком или техническим заказчиком в судебном порядке, а в отношении положительного заключения такая процедура законодательством не предусмотрена, в том числе по инициативе других заинтересованных сторон.

6. Не принимается во внимание, что разрешение на строительство выдается на весь срок, предусмотренный проектом организации строительства объекта (ч. 19 ст. 51 [7]), а основания для прекращения действия такого разрешения содержатся в ч. 21.1 ст. 51 [7], что практически не имеет места в отношении застройщика (технического заказчика) или собственника объекта.

7. С учетом вышеизложенного в пп. 5 и 6 при разрешении споров иногда выбирается ненадлежащий способ защиты прав, так как у застройщика (технического заказчика) почти всегда имеются все необходимые градостроительные документы для проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию объектов капитального строительства, в том числе подтверждающие их безопасность и соблюдение всех применимых норм и правил. Упомянутые документы во многих случаях являются действующими без ограничения срока, что весьма трудно оспорить.

8. С учетом необходимости выполнения требований к проектной документации (ст. 48 [7], постановление Правительства РФ № 87 [8]) и потребности в вынужденных отступлениях по минимально допустимым расстояниям от зданий, сооружений до оси кольцевых магистральных нефтепродуктопроводов и/или газопроводов для разработки и реализации при проектировании и строительстве объекта соответствующих дополнительных (компенсирующих) мероприятий заказчиком должно быть выдано техническое задание на соответствующее вне-

сение изменений (дополнений) в ранее согласованные СТУ. Правовым основанием для отступления от соответствующих требований (например, п. 5.5 табл. 4 СП 36.13330.2012 [1]) является ч. 8 ст. 6 Федерального закона № 384-ФЗ (далее — ФЗ № 384) [9].

9. Исходя из вышеизложенного в п. 8 должна быть выполнена разработка и *согласование с Минстроем России* СТУ для объекта защиты на основании ч. 2 ст. 78 ФЗ № 123 [5] и приказа МЧС России № 710 [10], а также на основании ч. 8 ст. 6 ФЗ № 384 [9] и приказа Минрегиона России № 36 [11] (к настоящему времени не подлежит применению согласно [12]).

Следует принять во внимание, что ранее согласованные СТУ признаются недействующими со дня принятия Минстроем решения о согласовании СТУ в измененной редакции (основание — п. 25 [12]; аналогичный пункт имелся и в приказе Минрегиона России № 36 [11]).

При этом необходимо учитывать следующее:

- полномочия по согласованию указанных СТУ предоставлены только Минстрою России (ч. 8 ст. 6 ФЗ № 384 [9], пп. 5.2.8 и 5.4.8 Положения о Минстрое России, утвержденного постановлением Правительства РФ от 18.11.2013 г. № 1038), а также Комитету г. Москвы по ценовой политике в строительстве и государственной экспертизе проектов (согласно отдельному постановлению Правительства РФ на этот счет);
- отступление от *обязательных требований* сводов правил (в частности, от п. 5.5 и табл. 4 СП 36.13330.2012 [1]) в соответствии с разрабатываемыми СТУ предусмотрено согласно ч. 8 ст. 6 ФЗ № 384 [9] при разработке в составе СТУ компенсирующих мероприятий (приказ Минрегиона России № 36 [11], а с 2016 г. — приказ Минстроя России № 248/пр [12]);
- содержание разд. 6.12 “Требования к магистральным трубопроводам”, в том числе табл. 44 СП 4.13130.2013 [2] (*подлежит применению на добровольной основе* согласно ч. 3 ст. 4 ФЗ № 123 [5] и приказа Ростехрегулирования № 474 [13]), практически идентично соответствующим требованиям СП 36.13330.2012 [1], т. е. указанные расстояния являются минимальными, но не противопожарными, что имеет принципиальное значение при требовании согласовывать такие отступления с МЧС России или его территориальными структурами;
- в состав подлежащих согласованию СТУ должны быть включены необходимые дополнительные мероприятия, являющиеся обязательными для применения также на стадии эксплуатации объекта защиты, которые следует связывать с Комплексом инженерно-технических и организационных мероприятий (КИТОМ), предусмотренным п. 48.1 приказа МЧС России от

28.06.2012 г. № 375 (с изменениями, внесенными приказом МЧС России от 27.12.2013 г. № 844; зарегистрировано в Минюсте России, рег. № 31579 от 12.03.2014 г.), в составе которого исполнителям в добровольном порядке надлежит выполнять расчетные обоснования эффективности таких мероприятий при возможных аварийных ситуациях (выбор последних в количестве от 1 до 3 осуществляется экспертно!) на трубопроводах, а также расчеты безопасности людей в основном здании объекта защиты и, например, на плоскостной автостоянке на прилегающей территории;

- подтверждение соответствия объекта требованиям пожарной безопасности проводится, как правило, по условию 1 ч. 1 ст. 6 ФЗ № 123 [5], т. е. расчетами по оценке индивидуального и социального рисков по методикам, утвержденным приказами МЧС России № 382 [14] (для зданий жилого или общественного назначения) и № 404 [15] (для производственных и складских зданий, сооружений вблизи или на территории в охранной зоне нефте- и газопроводов), которые должны подтверждать соблюдение соответствия объекта требованиям пожарной безопасности согласно ч. 1 ст. 79, ч. 2 ст. 81, ч. 4 и 5 ст. 93 ФЗ № 123 [5];
- требования СТУ распространяются и на стадию эксплуатации объекта, в связи с чем для объекта, кроме СТУ и расчетов, подтверждающих обеспечение безопасности людей согласно ст. 6 и 93 ФЗ № 123 [5], дополнительно должен также разрабатываться КИТОМ для стадии эксплуатации объекта, который следует согласовывать с Департаментом надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России или соответствующим территориальным органом МЧС России по субъекту РФ;
- на результаты расчетов, которые должны являться приложением к СТУ в части их соответствия требованиям технических регламентов, рекомендуется получить положительные заключения Академии ГПС МЧС России или ВНИИПО МЧС России.

10. В отношении практики некоторых расхождений формулировок в проектной документации с фактическими минимальными расстояниями по требованиям СТУ следует отметить:

- по СТУ расхождение между фактическим и предусмотренным расстояниями во многих случаях составляет около 5 % и является допустимым. Однако при необходимости соответствующего изменения допустимого значения по СТУ это можно выполнить путем внесения изменений в СТУ согласно п. 24 [12]. Иной вариант решения проблемы — использовать требование ч. 2 ст. 40

Градостроительного кодекса РФ [7] о том, что такое отклонение разрешается при соблюдении требований технических регламентов (см. при этом доводы из п. 1 статьи);

- при необходимости могут быть также выполнены дополнительные расчеты по отношению к расчетам, содержащимся в составе утвержденного КИТОМ, хотя экспертно можно утверждать, что такое влияние не может быть сколь-нибудь существенным, например при 5 % отклонений от тех или иных параметров, так как такая цифра является общепризнанной и допустимой при любых инженерных расчетах.

11. Требования СТУ должны предусматривать для стадии эксплуатации разработку КИТОМ, в котором по вполне очевидным основаниям должны учитываться дополнительные (компенсирующие) требования. Названный КИТОМ рекомендуется со-

гласовывать с Департаментом надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России или соответствующим органом надзора МЧС России по субъекту РФ.

Заключение

Существующая законодательная и нормативная база должна предусматривать ее квалифицированное применение на всех стадиях жизненного цикла зданий, сооружений, сетей и систем инженерно-технического обеспечения, начиная со стадии проектирования отдельно взятого объекта защиты и заканчивая его эксплуатацией. Попытки однозначного применения требований сводов правил (тем более добровольного применения) являются, по меньшей мере, некорректными, а по сути — неправомерными с учетом требований ст. 15 и 17 ФЗ № 384 [9], а также постановления Правительства № 806 [16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная ред. СНиП 2.05.06–85*. — Введ. 01.07.2013. — М. : ФАУ “ФЦС”, 2013.
2. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. — Введ. 24.06.2013. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2013.
3. СНиП 2.05.06–85*. Магистральные трубопроводы. — М. : ГУП ЦПП, 1998.
4. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ // Российская газета. — 31.12.2002. — № 245.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016) // Российская газета. — 01.08.2008. — № 163.
6. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” : постановление Правительства РФ от 26.12.2014 № 1521 // Собр. законодательства РФ. — 12.01.2015. — № 2, ст. 465.
7. Градостроительный кодекс Российской Федерации (в ред. от 07.03.2017) : Федер. закон РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ // Российская газета. — 30.12.2004. — № 290.
8. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 // Российская газета. — 27.02.2008. — № 41.
9. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Российская газета. — 31.12.2009. — № 255.
10. Об утверждении Административного регламента МЧС России предоставления государственной услуги по согласованию специальных технических условий для объектов, в отношении которых отсутствуют требования пожарной безопасности, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности, отражающих специфику обеспечения их пожарной безопасности и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению их пожарной безопасности : приказ МЧС России от 28.11.2011 № 710 // Российская газета. — 20.01.2012. — № 11.
11. Порядок разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : приказ Минрегиона России от 01.04.2008 № 36; введ. 01.04.2008 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 28.04.2008. — № 17.
12. Порядок разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : приказ Минстроя России от 15.04.2016 № 248/пр // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 03.10.2016. — № 40.

13. Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (в ред. от 25.02.2016) : приказ Росстандарта от 16.04.2014 № 474 // Информационный бюллетень “Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве”. — 2014. — № 4.
14. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 // Российская газета. — 28.08.2009. — № 161.
15. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
16. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации : постановление Правительства от 17.08.2016 № 806. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420372694> (дата обращения: 26.08.2016).

Материал поступил в редакцию 21 февраля 2017 г.

Для цитирования: Мешалкин Е. А., Медяник М. В. Нормативные требования к общественным зданиям и сооружениям по отношению к магистральным трубопроводам // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 15–20. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.15-20.

English

STANDARD REQUIREMENTS TO PUBLIC BUILDINGS AND WORKS IN RELATION TO THE MAIN PIPELINES

MESHALKIN E. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of “Pulse-FireBuild Engineering”, Ltd. (Malenkovskaya St., 32, build. 3, Moscow, 107113, Russian Federation; e-mail: Meshalkin@npopuls.ru)

MEDYANIK M. V., Senior Lecturer, Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: mihalmed@yandex.ru)

ABSTRACT

The existing legislative and regulatory base must provide the qualified its application at all stages of life cycle of buildings, constructions, networks and systems of technical providing.

Owing to intensive and permanent development of the cities and settlements, and also the happening changes concerning boundaries of the cities and settlements taking into account the trunk pipelines which are actually available in the territories laid out in previous years it isn't always possible to provide compliance of minimum admissible distances from an axis of trunk pipelines to designed projects of protection, to the set normative requirements.

On the basis of relevant provisions of technical regulations at derogation from the requirements established by the list of national standards and which sets of rules as a result of application on an obligatory basis observance of requirements of the Federal law No. 384-FZ “Technical regulations about safety of buildings and constructions” is provided, preparation of the project documentation and construction of the building or a construction are carried out according to the special specifications developed and coordinated in the order established by authorized federal executive authority.

Attempts of unambiguous application of requirements of sets of rules (especially voluntary application) are at least incorrect, and in fact are illegal according to Articles no. 15 and no. 17 of Federal law No. 384, and also the government resolution of 17.08.2016 No. 806 “About application risk — the focused approach at the organization of separate types of the state control (supervision) and introduction of amendments to some acts of the Government of the Russian Federation”.

Keywords: design; minimum admissible distances; public buildings; main pipelines; special specifications.

REFERENCES

1. Set of rules 36.13330.2012. Trunk pipelines. Moscow, FAU "FTsS" Publ., 2013 (in Russian).
2. Set of rules 4.13130.2013. Systems of fire protection. Restriction of fire spread at object of defense. Requirements to special layout and structural decisions. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2013 (in Russian).
3. Construction Norms and Regulations 2.05.06–85*. The main pipelines. Moscow, GUP TsPP Publ., 1998 (in Russian).
4. On technical regulation. Federal Law on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 31.12.2002, no. 245 (in Russian).
5. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. on 03.07.2016). *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 01.08.2008, no. 163 (in Russian).
6. About the approval of the list of national standards and sets of rules (parts of such standards and sets of rules) as a result of which application on an obligatory basis observance of requirements of the Federal law "Technical regulations about safety of buildings and constructions" is provided. Resolution of the Government of the Russian Federation on 26.12.2014 No. 1521. *Sobraniye zakonodatelstva RF / Collection of Laws of the Russian Federation*, 12.01.2015, no. 2, art. 465 (in Russian).
7. Town-planning code of the Russian Federation. Federal Law on 29.12.2004 No. 190. *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 30.12.2004, no. 290 (in Russian).
8. About structure of sections of the project documentation and requirements to their contents. Resolution of the Government of the Russian Federation on 16.02.2008 No. 87. *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 27.02.2008, no. 41 (in Russian).
9. About safety of buildings and constructions. Federal Law on 30.12.2009 No. 384. *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 31.12.2009, no. 255 (in Russian).
10. About the approval of Administrative regulations of Emercom of Russia of providing the state service in coordination of special specifications for objects concerning which there are no requirements of fire safety established by regulations of the Russian Federation and normative documents on fire safety, necessary technical and organizational actions for ensuring their fire safety reflecting specifics of ensuring their fire safety and containing a complex. Order of Emercom of Russia on 28.11.2011 No. 710. *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 20.01.2012, no. 11 (in Russian).
11. An order of development and coordination of special specifications for development of the project documentation on a capital construction project. Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation on 01.04.2008 No. 36. *Byulleten normativnykh aktov federalnykh organov ispolnitelnoy vlasti / Bulletin of Regulations of Federal Executive Authorities*, 28.04.2008, no. 17 (in Russian).
12. An order of development and coordination of special specifications for development of the project documentation on a capital construction project. Order of Ministry of Construction of Russia on 15.04.2016 No. 248/pr. *Byulleten normativnykh aktov federalnykh organov ispolnitelnoy vlasti / Bulletin of Regulations of Federal Executive Authorities*, 03.10.2016, no. 40 (in Russian).
13. About the approval of the list of documents in the field of standardization as a result of which application on a voluntary basis observance of requirements of the Federal law on 22.07.2008 No. 123-FZ "Technical regulations for fire safety requirements" is provided. Order of Rosstandart on 16.04.2014 No. 474 (ed. on 25.02.2016). *Informatsionnyy byulleten "Normirovaniye, standartizatsiya i sertifikatsiya v stroitelstve" / Informational bulletin "Rationing, standardization and certification in construction"*, 2014, no. 4 (in Russian).
14. Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. *Rossiyskaya gazeta / Russian Newspaper*, 28.08.2009, no. 161 (in Russian).
15. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
16. *About application risk — the focused approach at the organization of separate types of the state control (supervision) and introduction of amendments to some acts of the Government of the Russian Federation*. Government resolution on 17.08.2016 No. 806 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420372694> (Accessed 26 August 2016).

For citation: Meshalkin E. A., Medyanik M. V. Standard requirements to public buildings and works in relation to the main pipelines. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 15–20 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.15-20.

Ю. К. СУНЦОВ, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: jsyntsov@mail.ru)

Ю. Н. СОРОКИНА, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: sorokina-jn@mail.ru)

А. М. ЧУЙКОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

УДК 614.841.41

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭНЕРГИИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА С ТЕМПЕРАТУРОЙ ВСПЫШКИ ВЕЩЕСТВ В ГОМОЛОГИЧЕСКОМ РЯДУ Н-АЛКИЛАМИНОВ

На основе литературных данных с использованием стандарта идеального газа (взятого при температуре и объеме жидкости) рассчитаны значения внутренней энергии, энтропии и энергии Гельмгольца для веществ гомологического ряда н-алкиламинов. Установлено, что значения термодинамических функций веществ аддитивно зависят от молярной массы н-алкиламина в гомологическом ряду. Анализом литературных данных установлена также аддитивная зависимость температур вспышки веществ от молярной массы н-алкиламинов. С учетом общей направленности изменения этих свойств обнаружено, что значения энергии Гельмгольца аддитивно зависят от температуры вспышки н-алкиламинов в гомологическом ряду. Приведены необходимые для расчетов свойств веществ уравнения.

Ключевые слова: давление насыщенного пара; мольный объем; внутренняя энергия; энтропия; энергия Гельмгольца; температура вспышки; корреляционные уравнения.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.21-28

Введение

К числу важнейших показателей, обеспечивающих пожарную безопасность технологических процессов, относится температура вспышки огнеопасных веществ (ГОСТ 12.1.044–89). Для расчетов процессов и аппаратов химических производств также необходимы данные по термодинамическим свойствам веществ. Эти данные можно получить, исследуя фазовые равновесия *жидкость – пар* [1]. Известно, что исследование гетерогенных равновесий связано с большими экспериментальными трудностями [2]. В связи с этим разработка метода прогнозирования термодинамических свойств и показателей пожароопасности веществ на их основе является актуальной задачей. Особенности жидкого состояния веществ вызывают большие трудности в решении этой задачи. Существующие статистические теории жидкого состояния веществ все еще недостаточно точны и слишком сложны. Утверждения о “техническом” характере преодоления этих трудностей, вероятно, слишком оптимистичны. Обобщение экспериментальных данных с точки зрения энергетических характеристик взаимодействия в жидких веществах

необходимо для формирования новых идей в развитии теории жидкого состояния вещества. Классическая термодинамика и сопоставление свойств жидких веществ с иными стандартами, например с идеальным газом, дают естественную основу для таких обобщений. Очевидно, что дальнейшее развитие термодинамической теории жидкого состояния требует явного учета молекулярных концепций.

Цели и задачи исследования

Основная цель работы состоит в теоретическом обосновании и разработке новых методов прогнозирования термодинамических свойств и показателей пожароопасности веществ при ограниченном объеме экспериментальной информации. Решение этой задачи связано с установлением взаимосвязи между молекулярными характеристиками и термодинамическими свойствами веществ в гомологических рядах. Существующие методы расчета свойств многокомпонентных систем также основаны на свойствах компонентов, образующих гомологические ряды. Разработка нового метода прогнозирования термодинамических свойств и показателей

пожароопасности веществ в гомологических рядах связана с установлением взаимосвязи этих свойств с молярной массой (структурой молекул) веществ гомологических рядов. Ранее была установлена функциональная взаимосвязь температуры вспышки и энергии Гельмгольца с молярной массой веществ гомологических рядов — *n*-алкилэтаноатов, *n*-спиртов и кетонов [3]. Задачей настоящей работы является установление подобных аналитических зависимостей для таких веществ гомологического ряда, как *n*-алкиламины.

Материалы и методы исследования

Из литературных данных известны давление насыщенного пара и объемные свойства жидких веществ гомологического ряда *n*-алкиламинов (метиламин, этиламин, пропиламин-1, бутанами-1, пентанами-1, гексанами-1, гептанами-1, октанами-1, нонанами-1, деканами-1) [4–15]. Проведенные ранее расчеты с использованием методики Льюиса не позволили нам установить взаимосвязь между молекулярными характеристиками и термодинамическими свойствами веществ в гомологических рядах. Основной недостаток расчета по методу Льюиса заключается в том, что значения термодинамических функций неадекватно характеризуют межмолекулярное взаимодействие (ММВ) в жидкости. Например, для индивидуальной жидкости, находящейся в равновесии с паром, изменение энергии Гиббса $\Delta G = G_{\text{пар}} - G_{\text{жид}} = 0$. Создается впечатление, что энергия Гиббса “не чувствует” межмолекулярного взаимодействия в жидкости. Ряд исследователей (Белл и Гетти; Гиршфельдер, Кертис и Берд; Никольский; Раулинсон, Рудаков) уже обращали внимание на недостаточность формального описания термодинамических свойств жидких веществ. Работы этих ученых содержат интересные попытки учета вкладов ММВ в изменение термодинамических функций жидких веществ. Однако это направление, к сожалению, не привлекло внимание широкого круга исследователей. Имеющиеся публикации разобщены, теоретический смысл приемов, их общность и значимость до конца не выяснены. Возможность построения на этой основе общего подхода рассмотрена автором в работах [16, 17].

Энергия ММВ обычно определяется как работа разведения молекул друг от друга на бесконечное расстояние. Однако возможно и другое решение задачи — изолирование молекул друг от друга путем наложения внешнего энергетического поля при сохранении расстояния между ними. (Это состояние подобно состоянию жидкости со свойствами идеального газа.) Если энергии “изолированных” и “разделенных” молекул равны, то на отключение механизма ММВ в обоих случаях затрачивается оди-

наковая работа. В термодинамической системе результаты расчетов зависят также от способа проведения процесса отключения механизма ММВ — либо расширением системы до объема $V \rightarrow \infty$, либо путем изоляции при его сохранении ($V = \text{const}$). Число возможностей проведения данного процесса увеличивается неограниченно, если принять во внимание промежуточные случаи (между $V \rightarrow \infty$ и $V = \text{const}$), а также случаи различного теплового обмена с окружающей средой. Недостаточно констатировать, что стандартная система без межмолекулярного взаимодействия — идеальный газ. Необходимо точно определить его состояние.

Идеальный газ имеет две степени свободы, поэтому введем два ограничения. Прежде всего необходимо исключить работу против любых сил, кроме межмолекулярного взаимодействия, что ведет к условию $V = \text{const}$. Далее возможны два варианта: 1) адиабатический вариант ($S = \text{const}$); 2) изотермический вариант ($T = \text{const}$), когда энтропия системы меняется за счет межмолекулярного взаимодействия, но не температуры. Эти соображения объясняют необходимость проведения процесса при условии $V = \text{const}$, $T = \text{const}$. Примем два положения, первое из которых определяет стандартную систему, второе — вклады межмолекулярного взаимодействия в изменение термодинамических функций жидкой системы:

- 1) стандартная система без межмолекулярного взаимодействия при любых степенях сжатия — идеальный газ, взятый при температуре T , объеме V и составе реальной жидкости и подчиняющийся той же статистике;
- 2) вклад межмолекулярного взаимодействия в изменение термодинамической функции определяется как разность значений этой функции для стандартной (F^* , U^* , S^*) и реальной (F , U , S) жидких систем.

Работа процесса при условии $T = \text{const}$, $V = \text{const}$ равна убыли энергии Гельмгольца:

$$\hat{F} = F^* - F. \quad (1)$$

Эту величину будем называть свободной энергией взаимодействия, или работой отключения механизма ММВ. Аналогично определяем внутреннюю энергию взаимодействия:

$$\hat{U} = U^* - U \quad (2)$$

и энтропию ММВ:

$$\hat{S} = S^* - S. \quad (3)$$

Эти величины связаны уравнением Гельмгольца

$$\hat{U} = \hat{F} + T\hat{S}. \quad (4)$$

Таким образом, для отключения механизма ММВ в системе необходимо подвести энергию $\hat{U}$, явля-

иющуюся полной мерой энергетических затрат. Работа отключения взаимодействия $\hat{F}$ дает количественную меру механических усилий, необходимых для преодоления ММВ в изотермических условиях. Кроме того, функция $\hat{F}$ наиболее просто связана с основными измеряемыми величинами (P, V, T) и поэтому наиболее точно вычисляется по экспериментальным данным. Далее легко найти другие функции. Энтропия взаимодействия $\hat{S}$ является фундаментальной мерой изменения упорядоченности молекулярной системы при отключении механизма ММВ. Согласно основному предположению статистической механики энтропия — прямая мера неупорядоченности системы. В общем случае понятие молекулярного беспорядка строго не определено. Исходя из закономерностей изменения энтропии, полагают, что “беспорядок” растет с увеличением объема системы (беспорядок в расположении) и температуры (беспорядок в движении). Когда объем и температура системы закреплены, очевидно, что упорядоченность системы будет определяться только межмолекулярным взаимодействием. С ростом ММВ упорядоченность в системе будет возрастать, а при ослаблении — снижаться. Отключение механизма ММВ с неизбежностью должно привести к росту энтропии или, по крайней мере, к сохранению ее. Энтропия любой реальной системы меньше (или равна) энтропии идеального газа при тех же температуре и объеме.

Для установления связи значений термодинамических функций с молярной массой (структурой молекул) веществ значения функций были рассчитаны с использованием стандарта идеального газа, взятого при температуре T и объеме V реальной жидкости. Для наглядности рассмотрим изотермический цикл жидкости (рис. 1). Каждое состояние отмечено молярным объемом системы и давлением, а каждый обратимый переход — изменением свободной и внутренней энергии. При отключении механизма ММВ (переход А) жидкость переводится в стандартное состояние с тем же объемом V , при этом давление возрастает до $P^* = RT/V$. Изменение энергии Гельмгольца равно $\hat{F}$, внутренней энергии — $\hat{U}$. Затем стандартная система изотермически расширяется до объема насыщенного пара $V_{\text{газ}}$ и давления $P_{\text{газ}}^* = RT/V_{\text{газ}}$ (переход Б). Включается взаимодействие для перевода системы в насыщенный пар с объемом $V_{\text{газ}}$ и давлением P (переход В). Наконец, система возвращается в исходное состояние путем конденсации пара при $P = \text{const}$ (переход Г).

Суммируя значения ΔF и ΔU , имеем в случае перехода моля вещества из состояния идеального газа в жидкое состояние с межмолекулярным взаимодействием уравнения соответственно для энергии

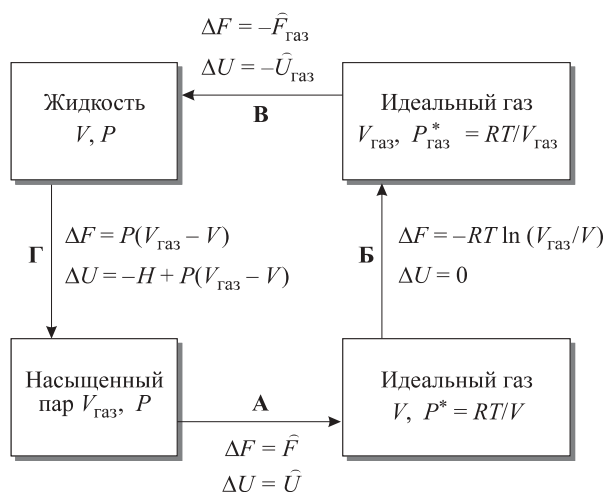


Рис. 1. Изотермический цикл жидкости

Гельмгольца ($\hat{F}$), энтропии ($\hat{S}$) и внутренней энергии ($\hat{U}$) [16–18]:

$$\hat{F} = RT \ln \frac{RT}{P_0 V_0} - RT + P_0 V_0; \quad (5)$$

$$\hat{U} = H_0 - RT + P_0 V_0; \quad (6)$$

$$\hat{S} = H_0 - RT \ln \frac{RT}{P_0 V_0}, \quad (7)$$

где R — универсальная газовая постоянная;

T — температура, К;

P_0, V_0 — давление пара и молярный объем жидкости;

H_0 — молярная энтальпия испарения жидкости.

Значения энтальпии испарения H_0 в уравнениях (6) и (7) для n -алкиламинов брались из литературных данных [4–12].

Результаты и их обсуждение

Анализом литературных данных установлено, что энтальпия испарения n -алкиламинов H_0 аддитивно зависит от молярной массы вещества в гомологическом ряду, и для $T = 323$ К получено уравнение

$$H_0 = 0,2715M + 15,32, \quad R^2 = 0,9996, \quad (8)$$

где H_0 — в кДж/моль;

M — молярная масса n -алкиламина;

R^2 — коэффициент корреляции.

Отметим, что значения H_0 отличаются от $\hat{U}$ на величину RT (значения $P_0 V_0$ составляют всего 2–3 Дж/моль), поэтому мы и имеем уравнение (8).

На основе литературных данных [4–15] по уравнениям (5)–(7) рассчитаны значения $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $\hat{S}$ жидких n -алкиламинов — метиламина, этиламина, пропиламина-1, бутанамина-1, пентанамина-1, гексанамина-1, гептанамина-1, октанамина-1, нонанамина-1, декамина-1. Анализ результатов расчетов показы-

вает, что значения $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $\hat{S}$ н-алкиламинов аддитивно зависят от их молярной массы и могут быть описаны уравнениями вида ($T = 323$ K):

$$\hat{F} = 170,2M + 2404, R^2 = 0,9999; \quad (9)$$

$$\hat{U} = 1000M - 2685, R^2 = 0,9999; \quad (10)$$

$$T\hat{S} = 829,8M - 5089, R^2 = 0,9999, \quad (11)$$

где $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $\hat{S}$ — в Дж/моль.

Коэффициенты в уравнениях (9)–(11) определялись методом наименьших квадратов с использованием программы CurveExpert 1.3. Уравнения (9)–(11) описывают термодинамические свойства жидких н-алкиламинов с точностью ± 20 Дж/моль.

Аддитивная зависимость значений $\hat{F}$, $\hat{U}$ и $\hat{S}$ от молярной массы н-алкиламина (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) указывает, на наш взгляд, на подобие жидких структур этих веществ. Установленные нами закономерности подтверждают основную идею, лежащую в основе групповых моделей растворов (UNIFAC, ASOG) [19].

Температура вспышки, принятая за основу классификации жидкостей по степени их пожаровзрывоопасности, является одним из важнейших показателей пожарной опасности. Анализом литературных данных [20–23] установлено, что температура вспышки н-алкиламинов аддитивно возрастает с увеличением молярной массы (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) вещества в гомологическом ряду (рис. 2). Зависимость, представленная на рис. 2, с использованием программы CurveExpert 1.3 описана уравнением

$$T_{\text{всп}} = 1,147M + 183,2, R^2 = 0,9984, \quad (12)$$

где $T_{\text{всп}}$ — температура вспышки, К.

Учитывая аддитивную зависимость значений термодинамических функций (уравнения (9)–(11)) и температуры вспышки (см. рис. 2) от молярной массы вещества в гомологическом ряду, целесообразно

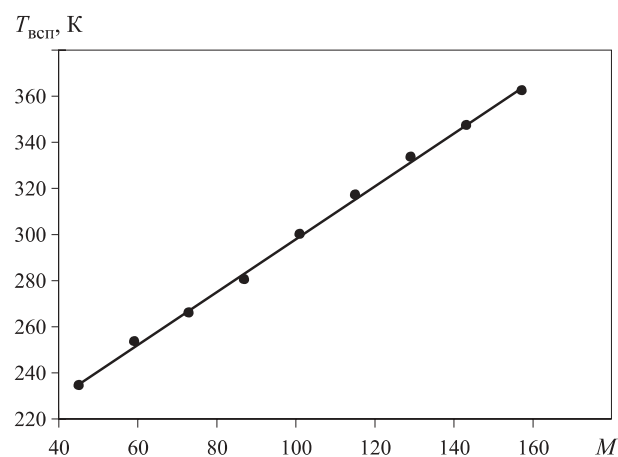


Рис. 2. Зависимость температуры вспышки от молярной массы вещества в гомологическом ряду н-алкиламинов

установить взаимосвязь энергии Гельмгольца с температурой вспышки вещества в гомологическом ряду. С этой целью значения энергии Гельмгольца были пересчитаны для температур вспышки веществ в гомологическом ряду. Оказалось, что энергия Гельмгольца при температуре вспышки веществ также аддитивно возрастает с увеличением молярной массы вещества (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) в гомологическом ряду н-алкиламинов (рис. 3). Зависимость энергии Гельмгольца (Дж/моль) при температуре вспышки от молярной массы н-алкиламина описывается уравнением

$$\hat{F} = 99,8M + 11420, R^2 = 0,991. \quad (13)$$

С учетом общей тенденции в изменении значений температуры вспышки (см. рис. 2) и энергии Гельмгольца, рассчитанной при температуре вспышки (см. рис. 3), в зависимости от молярной массы веществ в гомологическом ряду представлялось целесообразным установить их взаимосвязь (рис. 4).

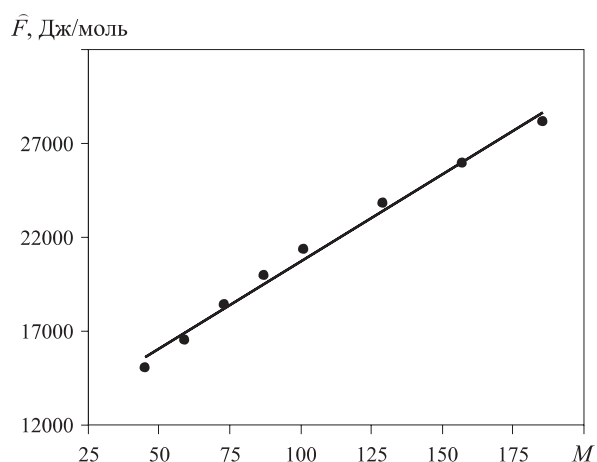


Рис. 3. Зависимость энергии Гельмгольца, рассчитанной при температуре вспышки, от молярной массы н-алкиламина в гомологическом ряду

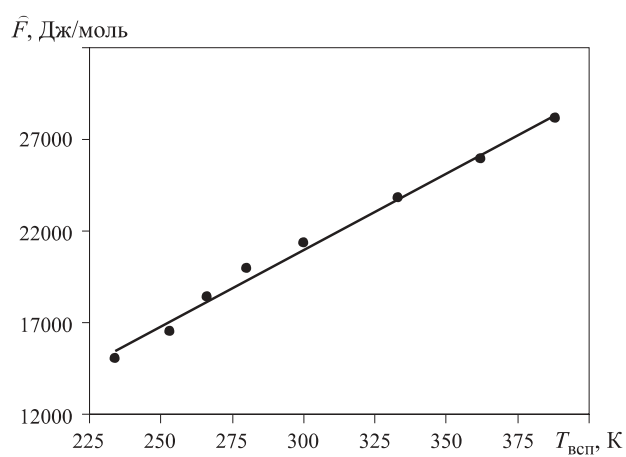


Рис. 4. Зависимость энергии Гельмгольца от температуры вспышки н-алкиламина в гомологическом ряду

Корреляционным анализом с использованием программы TableCurve 3D v4.0 получено уравнение для $\hat{F}$ (Дж/моль):

$$\hat{F} = 83,56T_{\text{всп}} - 4111,6, R^2 = 0,992. \quad (14)$$

Уравнение (14) позволяет с необходимой для производственных целей точностью рассчитывать температуру вспышки $T_{\text{всп}}$ *n*-алкиламинов по термодинамическим свойствам любых двух веществ гомологического ряда и наоборот. Точность вычислений зависит только от точности экспериментальных данных для этих двух веществ. Ранее подобные закономерности были выявлены для таких веществ гомологических рядов, как *n*-алкилэтаноаты, *n*-спирты и кетоны [3]. По мнению авторов, установленные для изученных веществ закономерности могут быть применены к веществам других гомологических рядов.

Выводы

1. Значения энергии Гельмгольца $\hat{F}$, внутренней энергии $\hat{U}$ и энтропии $\hat{S}$ аддитивно зависят от мо-

лярной массы вещества (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) в гомологическом ряду *n*-алкиламинов и описаны уравнениями (9)–(11) с точностью ± 20 Дж/моль.

2. Показано, что межмолекулярное взаимодействие в жидкости необходимо оценивать значениями термодинамических функций, рассчитанных по стандарту идеального газа, взятого при тех же температурах и объеме, что и испытываемая жидкость.

3. Установлено, что температура вспышки *n*-алкиламинов аддитивно возрастает с увеличением молярной массы (числа групп $-\text{CH}_2-$ в молекуле) вещества в гомологическом ряду (уравнение (12)).

4. Аддитивное возрастание значений температуры вспышки связано с аддитивным увеличением значений энергии Гельмгольца в гомологическом ряду *n*-алкиламинов (уравнение (14)).

5. Предложена методика, позволяющая с точностью проведенного эксперимента прогнозировать термодинамические свойства и температуры вспышки *n*-алкиламинов, опираясь на свойства двух веществ гомологического ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть II. Расчет через давление насыщенного пара // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 21–35.
2. Морачевский А. Г., Смирнова Н. А., Пиотровская Е. М. и др. Термодинамика равновесия жидкость – пар / Под ред. А. Г. Морачевского. — Л.: Химия, 1989. — 344 с.
3. Сунцов Ю. К., Сорокина Ю. Н., Чуйков А. М., Горюнов В. А. Взаимосвязь энергии Гельмгольца с температурой вспышки веществ в гомологических рядах *n*-алкилэтаноатов, *n*-спиртов и кетонов // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.27-33.
4. Stephenson R. M., Malanowski S. Handbook of the thermodynamics of organic compounds. — New York: Elsevier, 1987. — 552 p. DOI: 10.1007/978-94-009-3173-2.
5. Majer V., Svoboda V. Enthalpies of vaporization of organic compounds: A critical review and data compilation. — Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. — 300 p.
6. Favier R., Rosso J.-C., Carbonnel L. Etude des systemes binaires eau-monoamines aliphatiques. Etablissement de onze diagrammes de phases. Mise en evidence d'hydrates nouveaux // Bulletin de la Société Chimique de France. — 1981. — Vol. 5-6. — P. 225–235 (in French).
7. Antosik M., Gałka M., Malanowski S. K. Vapor-liquid equilibrium for acetonitrile + propanenitrile and 1-pentanamine + 1-methoxy-2-propanol // Journal of Chemical & Engineering Data. — 2004. — Vol. 49, No. 1. — P. 11–17. DOI: 10.1021/jc025660t.
8. Belaribi B. F., Belaribi-Boukais G., Ait Kaci A., Jose J. Equilibres liquide-vapeur isothermes de melanges binaires, amine+amine // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. — 2000. — Vol. 61, No. 3. — P. 787–803. DOI: 10.1023/A:1010145130024.
9. Chickos J. S., Hosseini S., Hesse D. G. Determination of vaporization enthalpies of simple organic molecules by correlations of changes in gas chromatographic net retention times // Thermochimica Acta. — 1995. — Vol. 249. — P. 41–62. DOI: 10.1016/0040-6031(95)90670-3.
10. Steele W. V., Chirico R. D., Knipmeyer S. E., Nguyen A., Smith N. K., Tasker I. R. Thermodynamic properties and ideal-gas enthalpies of formation for cyclohexene, phthalan (2,5-dihydrobenzo-3,4-furan), isoxazole, octylamine, dioctylamine, trioctylamine, phenyl isocyanate, and 1,4,5,6-tetrahydropyrimidine // Journal of Chemical & Engineering Data. — 1996. — Vol. 41, No. 6. — P. 1269–1284. DOI: 10.1021/jc960093t.
11. Wadso I. Enthalpies of vaporization of organic compounds. III. Amines // Acta Chemica Scandinavica. — 1969. — Vol. 23. — P. 2061–2064. DOI: 10.3891/acta.chem.scand.23-2061.
12. Catalog Handbook of Fine Chemicals. — Milwaukee, WI: Aldrich Chemical Company Inc., 1990. — 2158 p.

13. Dykij J., Svoboda J., Wilhoit R. C., Frenkel M., Hall K. R. Vapor pressure of chemicals. Vapor pressure and antoine constants for nitrogen containing organic compounds. In: Hall K. R. (ed.). Landolt-Börnstein — Group IV Physical Chemistry. — Publisher Springer, 2001. — Vol. 20C. — 138 p. DOI: 10.1007/b88812.
14. Kinart C. M., Kinart W. J., Chęcińska-Majak D. Density, relative permittivity, and viscosity at various temperatures for 2-methoxyethanol + propylamine mixtures // Journal of Chemical & Engineering Data. — 2002. — Vol. 47, No. 6. — P. 1537–1539. DOI: 10.1021/je0201065.
15. Oswal S. L., Oswal P., Gardas R. L., Patel S. G., Shinde R. G. Acoustic, volumetric, compressibility and refractivity properties and reduction parameters for the ERAS and Flory models of some homologous series of amines from 298.15 to 328.15 K // Fluid Phase Equilibria. — 2004. — No. 216, Issue 1. — P. 33–45. DOI: 10.1016/j.fluid.2003.09.007.
16. Suntsov Yu. Legitimacies change of properties of binary systems on an example of solutions formed by aliphatic alcohol and complex ethers of organic acids // The report on XVIII International conferences “Thermodynamics–2003”. — England, Cambridge : University of Cambridge, 2003. — P. 99.
17. Suntsov Yu. K. New method of predicting the thermodynamic properties of solutions // Journal of Chemistry and Chemical Engineering. — 2014. — Vol. 8, No. 3. — P. 306–314. DOI: 10.17265/1934-7375/2014.03.013.
18. Сунцов Ю. К., Горюнов В. А., Чуйков А. М., Мещеряков А. В. Фазовые равновесия жидкость-пар и термодинамические свойства растворов 2-метилпропанол – н-алкилпропаноаты // Журнал физической химии. — 2016. — Т. 90, № 8. — С. 1209–1215. DOI: 10.7868/S0044453716080288.
19. Walas S. M. Phase equilibria in chemical engineering. — Boston : Butterworths Publishers, 1985. — 671 p. DOI: 10.1016/c2013-0-04304-6.
20. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — 2-е изд. перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.
21. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIV. Алкиламины // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 9. — С. 27–37.
22. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 01.03–20.04.2016).
23. База данных химических соединений ChemSpider. URL: <http://www.chemspider.com/> (дата обращения: 01.03–20.04.2016).

Материал поступил в редакцию 17 января 2017 г.

Для цитирования: Сунцов Ю. К., Сорокина Ю. Н., Чуйков А. М. Взаимосвязь энергии Гельмгольца с температурой вспышки веществ в гомологическом ряду н-алкиламинов // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 21–28. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.21-28.

English

HELMHOLTZ ENERGY INTERRELATION WITH A FLASH POINT FOR COMPOUNDS IN HOMOLOGOUS SERIES OF N-ALKYL AMINES

SUNTSOV Yu. K., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya st., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: jsyntsov@mail.ru)

SOROKINA Yu. N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Docent of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: sorokina-jn@mail.ru)

CHUYKOV A. M., Candidate of Technical Sciences, Head of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya st., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

ABSTRACT

The number of organic compounds exceeded 40 million and increases each year by 300 thousand. To ensure the fire safety and technological calculations of processes of production, for storage and transportation materials there are needed data rates fire and explosion hazard substances. Therefore, development of a method of forecasting fire danger indicators and thermodynamic properties of substances, based on the minimum amount of experimental data, is an important task.

Solution of this problem is connected with an establishment of the relationship between the molecular characteristics and thermodynamic properties of substances in the homologous series. The available methods for calculating the properties of multi component systems are also based on the properties of the constituent components.

An essential drawback thermodynamic value of standardization methods is that the obtained values of the thermodynamic functions are only indirectly related to the intermolecular interaction that determines the properties of liquids. It is known that the laws of thermodynamics do not contain the concept of interaction. These concepts are introduced from other areas of science. The interaction energy of the molecules is defined as the work of their division into an infinite state. However, another possible solution to the problem — isolation of molecules from interacting with each other, while maintaining the distance between them. If the energies of the “isolated” and “separated” molecules are equal, off the intermolecular interactions in the two cases, require the same work. Contribution of intermolecular interactions in the thermodynamic function is determined by the difference between the values of this function for the standard and the actual systems. As a standard system without intermolecular interaction was taken ideal gas at the temperature and volume of liquid.

As objects of research are chosen substances of the homologous series of n-alkyl amines. The analysis determined that values of the thermodynamic functions of substances additively depend on the molar weight of n-alkyl amine in the homologous series. Similar dependence was observed for the flash point n-alkyl amines. Taking into account the general tendency in the change of flash point values and the Helmholtz energy of molar weight substances in the homologous series, it seems appropriate to establish their interrelation. The corresponding equations were obtained. Earlier similar dependence was observed for the homologous series of substances: n-alkyl etanoats, aliphatic ketones and alcohols. The established regularities and obtained based on these equations allow us to predict the properties of homologous series of substances with the necessary accuracy for practical purposes.

Keywords: saturated vapor pressure; molar volume; internal energy; entropy; Helmholtz energy; flash point; correlation equations.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Flash point. Part II. Calculation via partial pressure. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 21–35 (in Russian).
2. Morachevskiy A. G. (ed.), Smirnova N. A., Piotrovskaya E. M. et al. *Termodinamika ravnovesiya zhidkost – par* [Thermodynamics of liquid — vapor equilibrium]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989. 344 p. (in Russian).
3. Suntsov Yu. K., Sorokina Yu. N., Chuykov A. M., Goryunov V. A. Helmholtz energy interrelation with a flash point for compounds in homologous series of n-alkyl ethanoates, n-alcohols and ketones. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.27-33 (in Russian).
4. Stephenson R. M., Malanowski S. *Handbook of the thermodynamics of organic compounds*. New York, Elsevier, 1987. 552 p. DOI: 10.1007/978-94-009-3173-2.
5. Majer V., Svoboda V. *Enthalpies of vaporization of organic compounds: A critical review and data compilation*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1985. 300 p.
6. Favier R., Rosso J.-C., Carbonnel L. Etude des systemes binaires eau-monoamines aliphatiques. Etablissement de onze diagrammes de phases. Mise en evidence d’hydrates nouveaux. *Bulletin de la Société Chimique de France*, 1981, vol. 5-6, pp. 225–235 (in French).
7. Antosik M., Gałka M., Malanowski S. K. Vapor-liquid equilibrium for acetonitrile + propanenitrile and 1-pentanamine + 1-methoxy-2-propanol. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2004, vol. 49, no. 1, pp. 11–17. DOI: 10.1021/je025660t.

8. Belaribi B. F., Belaribi-Boukais G., Ait Kaci A., Jose J. Equilibres liquide-vapeur isothermes de melanges binaires, amine+amine. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2000, vol. 61, no. 3, pp. 787–803. DOI 10.1023/A:1010145130024.
9. Chickos J. S., Hosseini S., Hesse D. G. Determination of vaporization enthalpies of simple organic molecules by correlations of changes in gas chromatographic net retention times. *Thermochimica Acta*, 1995, vol. 249, pp. 41–62. DOI: 10.1016/0040-6031(95)90670-3.
10. Steele W. V., Chirico R. D., Knipmeyer S. E., Nguyen A., Smith N. K., Tasker I. R. Thermodynamic properties and ideal-gas enthalpies of formation for cyclohexene, phthalan (2,5-dihydrobenzo-3,4-furan), isoxazole, octylamine, dioctylamine, trioctylamine, phenyl isocyanate, and 1,4,5,6-tetrahydropyrimidine. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 1996, vol. 41, no. 6, pp. 1269–1284. DOI: 10.1021/je960093t.
11. Wadso I. Enthalpies of vaporization of organic compounds III. Amines. *Acta Chemica Scandinavica*, 1969, vol. 23, pp. 2061–2064. DOI: 10.3891/acta.chem.scand.23-2061.
12. *Catalog Handbook of Fine Chemicals*. Milwaukee, WI, Aldrich Chemical Company Inc., 1990. 2158 p.
13. Dykij J., Svoboda J., Wilhoit R. C., Frenkel M., Hall K. R. Vapor pressure of chemicals. Vapor pressure and antoine constants for nitrogen containing organic compounds. In: Hall K. R. (ed.). *Landolt-Börnstein — Group IV Physical Chemistry*. Publisher Springer, 2001, vol. 20C. 138 p. DOI: 10.1007/b88812.
14. Kinart C. M., Kinart W. J., Chęcińska-Majak D. Density, relative permittivity, and viscosity at various temperatures for 2-methoxyethanol + propylamine mixtures. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2002, vol. 47, no. 6, pp. 1537–1539. DOI: 10.1021/je0201065.
15. Oswal S. L., Oswal P., Gardas R. L., Patel S. G., Shinde R. G. Acoustic, volumetric, compressibility and refractivity properties and reduction parameters for the ERAS and Flory models of some homologous series of amines from 298.15 to 328.15 K. *Fluid Phase Equilibria*, 2004, no. 216, issue 1, pp. 33–45. DOI: 10.1016/j.fluid.2003.09.007.
16. Suntsov Yu. Legitimacies change of properties of binary systems on an example of solutions formed by aliphatic alcohol and complex ethers of organic acids. In: *The report on XVIII International Conferences “Thermodynamics-2003”*. England, Cambridge, University of Cambridge, 2003, p. 99.
17. Suntsov Yu. K. New method of predicting the thermodynamic properties of solutions. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 306–314. DOI: 10.17265/1934-7375/2014.03.013.
18. Suntsov Y. K., Goryunov V. A., Chuikov A. M., Meshcheryakov A. V. Liquid-vapor phase equilibria and the thermodynamic properties of 2-methylpropanol – *n*-alkyl propanoate solutions. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2016, vol. 90, no. 8, pp. 1596–1601. DOI: 10.1134/S0036024416080288.
19. Walas S. M. *Phase equilibria in chemical engineering*. Boston, Butterworths Publishers, 1985. 671 p. DOI: 10.1016/c2013-0-04304-6.
20. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.; Part II, 774 p. (in Russian).
21. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M. Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XIV. Alkylamines. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 9, pp. 27–37 (in Russian).
22. *Sigma-Aldrich database*. Available at: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (Accessed 1 March – 20 April 2016).
23. *ChemSpider database of chemicals*. Available at: <http://www.chemspider.com/> (Accessed 1 March – 20 April 2016).

For citation: Suntsov Yu. K., Sorokina Yu. N., Chuykov A. M. Helmholtz energy interrelation with a flash point for compounds in homologous series of *n*-alkyl amines. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 21–28 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.21-28.

В. А. КОРАБЛЕВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры физики, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49)

Д. А. МИНКИН, канд. техн. наук, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mindim-spb@mail.ru)

А. В. ШАРКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры физики, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49)

Н. Н. РОМАНОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

УДК 536.2

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ШТОРЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Приведен обзор вспучивающихся материалов, используемых в качестве огнезащитного покрытия. Предложены тепловая и математическая модели огнезащитной шторы. Проведен расчет теплового сопротивления трех вариантов конструкции штор и рассчитаны температуры на не обогреваемой стороне. Выработаны рекомендации по обеспечению высоких теплоизоляционных характеристик огнезащитных штор. Предложено использовать вспучивающееся покрытие, нанесенное на кремнеземное полотно штор.

Ключевые слова: тепловое сопротивление; тепловая изоляция; вспучивающийся материал; огнезащитная штора; тепловой режим.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.29-36

Введение

Современные производственные, офисные, торговые и складские помещения характеризуются большими объемами, разнородной пожарной нагрузкой (оборудование, вещества и материалы). Пожары в таких условиях могут носить катастрофический характер и сопровождаться большим материальным ущербом. Одним из способов снижения последнего является применение огнезащитных штор, выполненных из огнестойких текстильных материалов. До возникновения пожара шторы находятся в сложенном или скрученном виде в верхней части ворот, дверей или открытых проходов, а при угрозе распространения огня дистанционно или вручную опускаются, отсекая пути распространения пламени, дыма и раскаленных газов. Один из вариантов такой шторы показан на рис. 1.

Основные технические требования к конструкциям противопожарных штор и методам их испытаний приведены в ГОСТ Р 53307–2009, ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ Р 53305–2009.

Огнезащитные шторы представляют собой новый, активно развивающийся вид противопожарных преград, который позволяет решать все более сложные задачи пожарной безопасности. Одним из важных преимуществ противопожарных штор перед другими трансформируемыми конструкциями, на-

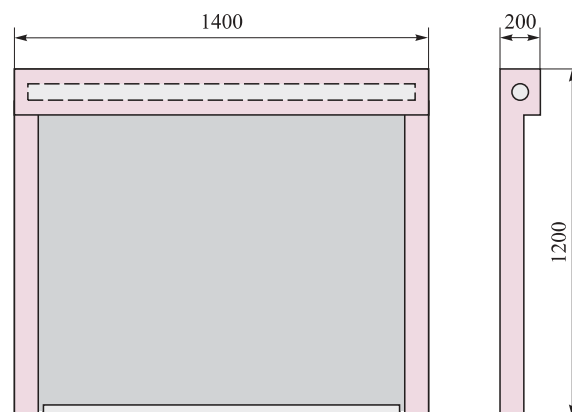


Рис. 1. Противопожарная штора в развернутом состоянии

пример противопожарными воротами или орошаемыми преградами, является возможность автономного использования их в автоматическом режиме без применения электроприводов и систем подачи воды. Кроме того, совершенствование конструкций штор позволило обеспечить их огнестойкость в диапазоне от EI 60 и до EI 180 [1–3].

Обзор современных противопожарных штор [1–4] показал, что одним из путей повышения огнестойкости их конструкции является применение воды как в пористой структуре многослойной шторы, так и для орошения нагреваемых поверхностей. Однако этот способ имеет ряд недостатков: материальный ущерб, наносимый распыляемой водой; конденсация испарившейся при пожаре влаги на открытых поверхностях кожи и лица человека, что приводит к серьезным термическим поражениям; необходимость организации системы подачи воды; увеличение массы и габаритов шторы; ограничения по условиям хранения штор с влагонаполненным пористым слоем; высокая стоимость конструкций.

Цели и задачи

Целью настоящей работы является разработка рекомендаций по созданию огнезащитной шторы, обладающей таким тепловым сопротивлением, которое позволит ей в стационарном режиме выдерживать высокоинтенсивное тепловое воздействие (пламени). Для этого необходимо решить следующие задачи:

- разработать тепловую модель шторы;
- рассмотреть механизмы теплопереноса;
- провести оценку тепловых характеристик шторы при изменении ее геометрических размеров, количества слоев, используемых материалов, температур воздействия, степени черноты полотна.

Материалы и методы

1. Для выполнения поставленной цели необходимо выбрать материал для полотна шторы, который должен сохранять механическую прочность в газовой среде с высоким содержанием кислорода и химически активных продуктов горения и не выделять вредных и горючих газов. Одним из перспективных материалов, удовлетворяющих этим требованиям, является ткань ВАТИ КТ-600 или КА-1100, изготовленная из кремнеземных волокон. Она способна выдерживать в течение длительного времени контакт с газом, раскаленным до температуры 1500 °С, без существенной потери прочности. С этой целью могут использоваться также: ткань из базальтового волокна, например ТБК-100, выдерживающая нагрев до 700 °С; арамидная ткань Style 200HF [5], выдерживающая длительное время нагрев до 250 °С и в течение короткого промежутка до 1000 °С; ткани

“Арселон” и “Кевлар”, сохраняющие целостность при температурах среды до 450 °С. Эти материалы различаются по физическим свойствам и стоимости. Выбор материала для изготовления шторы может быть сделан исходя из совокупности его характеристик.

Для уменьшения передачи теплоты излучением с поверхности ткани она может быть покрыта металлической фольгой, однако в условиях сильного задымления сажа, оседающая на ткани, существенно снижает экранирующий эффект, создаваемый металлизацией.

Для надежной защиты от воздействия высокой температуры газа и теплового излучения можно использовать термостойкие пористые материалы, однако штора, выполненная из них, будет иметь недопустимо большой объем в сложенном состоянии, поэтому альтернативой может быть применение вспучивающихся в результате сильного теплового воздействия материалов.

Промышленностью выпускается множество различных вспучивающихся покрытий, общей особенностью которых является многократное увеличение объема при достижении температуры вспучивания.

К наиболее распространенным можно отнести составы типа ВПМ-2 на основе смолы ММФ-50 и дициандиамида с различными добавками: аммофоса, фактора, мелема, асбеста со стекловолокном. Покрытие ВПМ-2 наносится на конструкции с целью повышения предела их огнестойкости.

В последнее время в составах типа ВПМ-2 используются терморасширяющиеся графиты, которые значительно улучшают теплозащитные свойства покрытий за счет увеличения кратности вспучивания. Их действие основано на способности увеличиваться в объеме при прокаливании в диапазоне температур 800–1100 К за счет термических изменений вспучивающегося материала и появления пузырей газа. В итоге существенно возрастает их пористость. Этот механизм аналогичен порообразованию в пеноматериалах, когда вспенивание достигается за счет газов, образующихся при разложении порообразователя.

К вспучивающимся огнезащитным материалам относятся также следующие составы: СГК-1, “Эндотерм” ХТ-1500, МПВО, ОСП-1, “Хенсотерм” 4КС, “Барриер 87”, “Файерфлекс” и др. [6–8]. При интенсивном тепловом воздействии их толщина может увеличиваться до 40 раз, при этом теплопроводность уменьшается в 4–6 раз.

Конструкция огнезащитной шторы включает полотно из огнеупорной ткани, покрытое слоем вспучивающегося материала толщиной 1 мм. При возникновении угрозы распространения пожара штора опускается. При интенсивном тепловом воздействии

вии толщина нанесенного на нее покрытия многократно возрастает, что позволяет надежно отсекают горячие газы и излучение.

Критерием эффективности огнезащитных свойств шторы служит значение температуры поверхности шторы со стороны, противоположной очагу пожара, при максимальной температуре в нем. Оно зависит от следующих параметров:

- температуры в очаге пожара;
- температуры в защищаемом помещении;
- теплового сопротивления шторы;
- интенсивности лучисто-конвективного теплообмена между шторой и средой со стороны пожара;
- интенсивности лучисто-конвективного теплообмена между шторой и средой в защищаемом помещении.

2. Необходимо разработать методику расчета, на основе которой можно оценить тепловые характеристики полотна при изменении его геометрических размеров, количества слоев, используемых материалов, температур воздействия, степени черноты полотна. По результатам расчета можно определить параметры элементов огнезащитной шторы, которые позволят обеспечить требуемые тепловые характеристики.

В настоящей работе рассматривается несколько вариантов исполнения шторы:

- 1) один слой текстильного полотна;
- 2) два слоя текстильного полотна, разделенные воздушной прослойкой;
- 3) текстильное полотно с нанесенным на него вспучивающимся материалом.

Обогреваемая поверхность огнезащитной шторы подвергается интенсивному тепловому воздействию. При этом тепловой поток от продуктов горения передается на поверхность шторы за счет теплового излучения и конвекции, в результате чего поверхность нагревается. Далее тепловой поток проходит через полотно шторы за счет теплопроводности и рассеивается в окружающей среде за счет конвекции и излучения, как показано на тепловой модели, представленной на рис. 2.

В случае исполнения шторы с воздушной прослойкой, разделяющей два текстильных слоя, передача тепла через прослойку осуществляется одновременно за счет кондукции, конвекции и излучения.

В качестве исходных данных для выполнения расчета принята температура продуктов горения $t_{\text{п}} = 1193^\circ\text{C}$ согласно требованиям по огнестойкости (ЕИ). При этом расчетное значение температуры на необогреваемой стороне шторы не должно возрастать более чем на 180°C по отношению к начальной температуре и превышать 300°C . Таким образом, при окружающей температуре среды $t_0 = 20^\circ\text{C}$

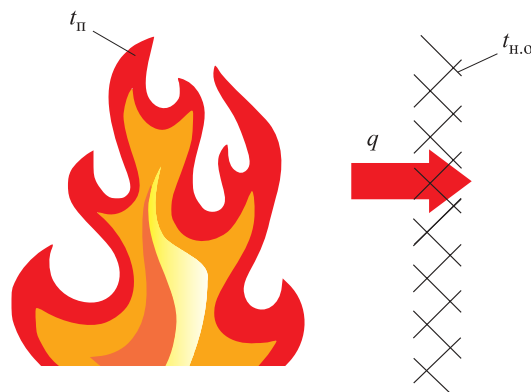


Рис. 2. Тепловая модель огнезащитной шторы: q — тепловой поток; $t_{\text{п}}$ — температура продуктов горения; $t_{\text{н.о}}$ — температура на необогреваемой поверхности шторы

температура на необогреваемой стороне должна быть $t_{\text{н.о}} \leq 200^\circ\text{C}$.

При выполнении теплового расчета шторы приняты следующие допущения:

- тепловой поток передается перпендикулярно плоскости шторы;
- отсутствуют притоки и стоки теплоты через торцы шторы;
- газ в прослойке шторы (для второго варианта исполнения) имеет свойства воздуха;
- тепловой режим стационарный.

Ключевым параметром в расчете шторы является ее тепловое сопротивление. Рассчитать температуру на необогреваемой стороне можно, предположив, что величина теплового потока, идущего через штору, одинакова на ее обеих поверхностях. В этом случае уравнение теплового баланса имеет вид:

$$q = (t_{\text{п}} - t_0) \left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + R_{\text{уд}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н.о}}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, проходящего через штору, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

t_0 — температура окружающей среды с необогреваемой стороны, $^\circ\text{C}$;

$R_{\text{уд}}$ — удельное тепловое сопротивление шторы, $\text{К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$;

$\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{н.о}}$ — коэффициенты теплоотдачи соответственно на обогреваемой и необогреваемой сторонах шторы, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$.

Величина суммарного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{п}}$ на обогреваемой поверхности за счет конвекции и излучения от греющей среды пожара зависит от множества факторов, в том числе от местоположения источника теплового воздействия, распределения температуры, концентраций и состава продуктов горения, их скорости движения вблизи рассматриваемой поверхности, и определяется по расчетным соотношениям, полученным на основе

экспериментальных исследований. Обзор литературных источников показал, что расчетные значения коэффициента теплоотдачи у разных авторов существенно расходятся между собой (более чем в два раза) [9–11].

В настоящей работе для определения коэффициента теплоотдачи на обогреваемой поверхности будет использоваться расчетное соотношение [11], которое получено для пожара в помещении и показывает хорошую сходимости с экспериментальными данными для случаев расположения факела пламени в непосредственной близости от нагреваемой поверхности:

$$\alpha_{\text{п}} = 0,135(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3} \frac{\lambda}{L} + \frac{\varepsilon_{\text{о.п}} c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{о.п}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{п}} - T_{\text{о.п}}}, \quad (2)$$

где Gr — критерий Грасгофа;

$$\text{Gr} = \frac{g\beta L^3 (T_{\text{п}} - T_{\text{о.п}})}{\nu^2};$$

g — ускорение свободного падения;

β — коэффициент объемного расширения; $\beta = 1/[0,5(T_{\text{п}} + T_{\text{о.п}})]$, K^{-1} ;

$T_{\text{п}}$ — температура продуктов горения, K;

$T_{\text{о.п}}$ — температура на обогреваемой поверхности, K;

L — определяющий размер, м;

ν — кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$;

Pr — критерий Прандтля; $\text{Pr} = \nu/\alpha$;

α — температуропроводность воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$;

λ — теплопроводность воздуха, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$;

$\varepsilon_{\text{о.п}}$ — степень черноты обогреваемой поверхности;

c_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела; $c_0 = 5,67$.

Коэффициент теплоотдачи на необогреваемой поверхности $\alpha_{\text{н.о}}$ найдем из соотношения [10]:

$$\alpha_{\text{н.о}} = \frac{\text{Nu} \lambda}{l} + \frac{\varepsilon_{\text{н.о}} c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{н.о}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{н.о}} - T_0}, \quad (3)$$

где Nu — критерий Нуссельта; $\text{Nu} = \alpha_{\text{н.о}} l/\lambda$;

l — определяющий размер, м;

$\varepsilon_{\text{н.о}}$ — степень черноты необогреваемой поверхности;

$T_{\text{н.о}}$, T_0 — температуры соответственно необогреваемой поверхности и среды, K.

Величина теплового сопротивления $R_{\text{уд}}$ зависит от конструкции шторы.

Для однослойной шторы $R_{\text{уд}}$ определяется теплопроводностью материала ткани $\lambda_{\text{тк}}$ ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$) и толщиной $\delta_{\text{тк}}$ (м) ее полотна:

$$R_{\text{уд}} = \delta_{\text{тк}}/\lambda_{\text{тк}}. \quad (4)$$

В настоящей работе рассматривается возможность использования для полотна шторы огнестойкого материала — кремнезема, обладающего высокой прочностью, температурой плавления 1500–1700 °C и теплопроводностью $\lambda_{\text{тк}} = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$. Готовое полотно шторы имеет толщину $\delta_{\text{тк}} = 3 \text{ мм}$ и удельное сопротивление $R_{\text{уд}} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$.

Плотность теплового потока, проходящего через штору, рассчитанная по уравнению (1), с учетом (2) и (3) и найденного значения $R_{\text{уд}}$ составит $q = 21 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Тогда температура на необогреваемой поверхности

$$t_{\text{н.о}} = t_{\text{п}} - q \left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + R_{\text{уд}} \right) = 1061 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При двухслойной конструкции шторы и расстоянии между слоями ткани более 1 см тепловое сопротивление $R_{\text{уд}}$ может быть оценено по формуле

$$R_{\text{уд}} = \left(\alpha_{\text{луч}} + \frac{\lambda_{\text{в}}}{\delta} \varepsilon_{\text{к}} \right)^{-1} + \frac{2\delta_{\text{тк}}}{\lambda_{\text{тк}}}, \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{луч}}$ — коэффициент теплообмена за счет теплового излучения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$;

$\lambda_{\text{в}}$ — теплопроводность воздуха, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$;

δ — расстояние между слоями ткани, м;

$\varepsilon_{\text{к}}$ — коэффициент конвективного теплообмена.

Величина $\alpha_{\text{луч}}$ может быть рассчитана по зависимости [6, 12]:

$$\alpha_{\text{луч}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot 5,67\varphi_{12} \left(\frac{\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4}{T_1 - T_2} \right), \quad (6)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенная степень черноты текстильного материала, складывающаяся из степени черноты 1-го (ε_1) и 2-го (ε_2) слоев;

$$\varepsilon_{\text{пр}} = (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1};$$

φ_{12} — коэффициент взаимного облучения;

T_1 , T_2 — температуры внутренних поверхностей двух текстильных полотен, образующих прослойку, K.

Коэффициент свободно-конвективного теплообмена в прослойке рассчитывается по соотношениям [13]:

$$\varepsilon_{\text{к}} = 1 \text{ при } \text{Gr} \cdot \text{Pr} < 1000;$$

$$\varepsilon_{\text{к}} = 0,18(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,25} \text{ при } \text{Gr} \cdot \text{Pr} \geq 1000.$$

Полотно каждого из двух слоев шторы имеет степень черноты $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$, при этом приведенная степень черноты $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,81$. Коэффициент взаимного облучения находится для двух параллельных плас-

тин, находящихся на расстоянии 1 см друг от друга [12, 13]: $\phi_{12} = 0,97$. В рассматриваемом случае

$$R_{уд} = \left(400 + \frac{0,027}{1 \cdot 10^{-2}} \right)^{-1} + \frac{6 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$$

и плотность теплового потока, проходящего через штору, $q = 19 \text{ кВт/м}^2$. Тогда температура на необогреваемой поверхности

$$t_{н.о} = t_{п} - q \left(\frac{1}{\alpha_{п}} + R_{уд} \right) = 950 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Для третьего варианта исполнения огнестойкой шторы, когда на текстильное полотно наносится слой вспучивающегося материала, величина $R_{уд}$ будет равна алгебраической сумме тепловых сопротивлений каждого из слоев:

$$R_{уд} = \frac{\delta_{тк}}{\lambda_{тк}} + \frac{\delta_{всп}}{\lambda_{всп}}. \quad (7)$$

При использовании вспучивающегося покрытия “Рубеж-В”, имеющего теплопроводность $\lambda = 0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ и толщину $\delta = 40 \text{ мм}$ (после вспучивания под действием высокой температуры), тепловое сопротивление шторы $R_{уд} = 0,5 \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$. Плотность теплового потока, проходящего через штору, $q = 2,1 \text{ кВт/м}^2$. Тогда температура на необогреваемой поверхности

$$t_{н.о} = t_{п} - q \left(\frac{1}{\alpha_{п}} + R_{уд} \right) = 137 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Результаты и их обсуждение

Как уже отмечалось выше, в случае изготовления шторы только из одного слоя текстильного полотна температура на необогреваемой поверхности $t_{н.о} = 1061 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что существенно превышает допустимый уровень.

Изготовление шторы из текстильного материала без огнезащиты обуславливает существенное превышение допустимой температуры на необогреваемой поверхности. Наличие воздушной прослойки увеличивает тепловое сопротивление шторы незначительно. Это связано с тем, что при передаче теплоты через прослойку основной вклад вносит лучистая составляющая теплообмена. В таком случае для сни-

жения интенсивности лучистого теплообмена в прослойке можно рассмотреть вариант конструкции, при котором на каждой из поверхностей шторы, образующих воздушную прослойку, размещаются экраны из алюминиевой фольги с $\varepsilon_s = 0,1$. Приведенная степень черноты для такой пары поверхностей $\varepsilon_{пр} = 0,05$. В результате такая прослойка позволит снизить исходное значение $\alpha_{луч}$ приблизительно в 15 раз. Тем не менее для обеспечения температуры на необогреваемой поверхности в течение длительного времени не выше $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ потребуется 10 таких прослоек. Аналогичное решение — многослойная полимерно-металлическая тепловая защита было предложено в работе [14]. Однако следует отметить, что испытания этой защиты проводились при температурах до $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

В случае третьего варианта исполнения огнестойкой шторы, при котором на текстильное полотно наносится слой вспучивающегося материала, температура на необогреваемой стороне $t_{н.о} = 137 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что не превышает допустимый уровень.

Заключение

Сравнивая результаты расчета для трех вариантов исполнения огнезащитной шторы, полученные на основе разработанной в настоящей работе методики, можно отметить, что конструкция с применением вспучивающегося покрытия обладает наибольшим тепловым сопротивлением и позволяет в стационарном режиме обеспечивать требуемую температуру на необогреваемой поверхности в соответствии с критериями огнестойкости (EI). Кроме того, такое исполнение позволяет сворачивать штору в рулон и размещать ее в кожухе над защищаемым проемом помещения. Недостатком конструкции является невозможность многократного использования шторы: после вспучивания покрытия под воздействием высоких температур штора требует замены.

Окончательные выводы можно сделать только после экспериментальной проверки огнезащитной шторы [15], тем не менее среди рассмотренных конструкций вариант со вспучивающимся покрытием по совокупности характеристик превосходит другие и является наиболее предпочтительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заикин С. В. Трансформируемые противопожарные преграды повышенной эффективности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Сергиев Посад, 2012.
2. Ляпин А. В. Современные огне- и дымозащитные преграды // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 6. — С. 49–56.
3. Корольченко А. Я., Гетало Д. П. Противопожарные шторы (обзор) // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 4. — С. 56–65.
4. Dombrovsky L. A., Dembele S., Wen J. X. Shielding of fire radiation with the use of multi-layered water mist curtains: preliminary estimates // Computational Thermal Sciences: An International Journal. — 2016. — Vol. 8, No. 4. — P. 371–380. DOI: 10.1615/computthermalsci.2016017601.

5. Horrocks A. R., Anand S. C. (eds). Handbook of technical textiles. — Boca Raton : CRC Press; Cambridge : Woodhead Publishing, 2000. — 559 p.
6. Халтуринский Н. А., Кудрявцев Ю. А. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия // Горение и взрыв. — 2014. — Т. 7, № 7. — С. 223–225.
7. Лобанова М. С., Каблов В. Ф., Кейбал Н. А., Бондаренко С. Н., Гаращенко А. Н. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия на основе перхлорвиниловой смолы для стеклопластика // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8(145). — С. 207–210.
8. Афанасьев С. В., Кузьмин И. В. Металлофосфатные огнезащитные композиции для древесины и металлоконструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 48–52.
9. Зайцев А. М., Болгов В. А., Черных Д. С. Определение коэффициента теплоотдачи в строительных конструкции при стандартном пожаре // Гелиогеофизические исследования. — 2014. — № 9. — С. 49–53.
10. Chander S., Ray A. Heat transfer characteristics of three interacting methane/air flame jets impinging on a flat surface // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2007. — Vol. 50, Issue 3-4. — P. 640–653. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.07.011.
11. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
12. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. A heat transfer textbook. — 3rd ed. — Cambridge, MA : Phlogiston Press, 2008. — 750 p.
13. Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Изд-во МЭИ, 2005. — 550 с.
14. Christke S., Gibson A. G., Grigoriou K., Mouritz A. P. Multi-layer polymer metal laminates for the fire protection of lightweight structures // Materials & Design. — 2016. — Vol. 97. — P. 349–356. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.02.105.
15. Шарков А. В., Кораблев В. А., Макаров Д. С., Минкин Д. А., Некрасов А. С., Гордейчик А. А. Измерения тепловых потоков высокой плотности с помощью автоматизированной установки // Измерительная техника. — 2016. — № 1. — С. 46–48.

Материал поступил в редакцию 17 января 2017 г.

Для цитирования: Кораблев В. А., Минкин Д. А., Шарков А. В., Романов Н. Н. Тепловой режим огнезащитной шторы в условиях интенсивного теплового воздействия // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 29–36. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.29-36.

English

THERMAL REGIME OF FIRE-PROTECTIVE CURTAIN AT HIGH INTENSIVE THERMAL ACTION CONDITIONS

KORABLEV V. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physics Department, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverkskiy Avenue, 49, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation)

MINKIN D. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physico-Technical Bases of Providing Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: mindim-spb@mail.ru)

SHARKOV A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Physics Department, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverkskiy Avenue, 49, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation)

ROMANOV N. N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physico-Technical Bases of Providing Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Today many offices and trade centers, manufacturing buildings have large areas, which include trade zones, warehouses and etc. Fires in these objects may result in huge pecuniary losses and casualties. One of the most effective fire safety equipment is fire-protective curtains.

In case of fire proliferation threat curtain falls to cut pathways of fire, smoke and hot gases to other sectors of building. The curtains may be automatically, remote or manually controlled. The aim of this work is to formulate recommendations for designing of fire-protective curtain with thermal resistance, which could provide ability to withstand high-intensity heat impact of fire in stationary regime. This requires to have thermal model of curtain and consider the ways of heat transfer. Thermal model allows to verify materials of curtain, number of layers, emissivity coefficient, geometry and calculate, how different variations of this parameters influence on thermal resistance.

We suggested thermal and mathematic models of fire curtain and solved three examples of curtain: one-layer textile curtain, two-layer textile curtain with air interlayer and one-layer textile curtain with coverage of sloughing material. The results of investigation show, that one-layer and two-layer curtains can't protect from spread of fire, because of low thermal resistance. These examples may be optimized by usage of several layers, which could reduce thermal radiation from flame, because at high temperatures (about 1000 °C) radiation realizes the main part of heat transfer. For example at textile layer about ten thin metallic polished shields with emissivity coefficient 0.1 have to be installed. Third example of fire-protective curtain shows the best thermal resistance among considered models. It provides high insulating and strength characteristics and allows withstanding intensive thermal action conditions for few hours.

Keywords: thermal resistance; thermal insulation; sloughing material; fire-protective curtain; thermal regime.

REFERENCES

1. Zaikin S. V. *Transformiruyemyye protivopozharnyye pregrady povyshennoy effektivnosti: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Transformable fire-preventive barriers with heightened efficiency. Abstr. cand. tech. sci. diss.]. Sergiev Posad, 2012 (in Russian).
2. Lyapin A. V. Modern fire- and smoke-protective barriers. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 46–56 (in Russian).
3. Korolchenko A. Ya., Getalo D. P. Fire shields (review). *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 56–65 (in Russian).
4. Dombrovsky L. A., Dembele S., Wen J. X. Shielding of fire radiation with the use of multi-layered water mist curtains: preliminary estimates. *Computational Thermal Sciences: An International Journal*, 2016, vol. 8, no. 4, pp. 371–380. DOI: 10.1615/computthermalsci.2016017601.
5. Horrocks A. R., Anand S. C. (eds.). *Handbook of technical textiles*. Boca Raton, CRC Press; Cambridge, Woodhead Publishing, 2000. 559 p.
6. Khalturinskii N. A., Kudryavtsev Yu. A. Fireproof intumescent paints. *Goreniye i vzryv / Combustion and Explosion*, 2014, vol. 7, no. 7, pp. 223–225 (in Russian).
7. Lobanova M. S., Kablov V. F., Keybal N. A., Bondarenko S. N., Garashchenko A. N. Flame retardant intumescent coatings based on perchlorovinyl resin for fiber-glass plastic. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskkiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8(145), pp. 207–210 (in Russian).
8. Afanasyev S. V., Kuzmin I. V. Metall-phosphatic fireproofing compositions for wood and steel structures. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 48–52 (in Russian).
9. Zaytsev A. M., Bolgov V. A., Chernykh D. S. Determination of the coefficient of heat transfer in building designs at standard fire. *Geliogeofizicheskiye issledovaniya / Heliogeophysical Research*, 2014, no. 9, pp. 49–53 (in Russian).
10. Chander S., Ray A. Heat transfer characteristics of three interacting methane/air flame jets impinging on a flat surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2007, vol. 50, issue 3-4, pp. 640–653. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.07.011.
11. Molchadskiy I. S. *Pozhar v pomeshchenii* [Indoors fire]. Moscow, VNIPO Publ., 2005. 456 p. (in Russian).
12. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. *A heat transfer textbook*. 3rd ed. Cambridge, MA, Phlogiston Press, 2008. 750 p.

13. Tsvetkov F. F., Grigoryev B. A. *Teplomassoobmen* [Heat and mass transfer]. Moscow, Izdatelstvo MEI, 2005. 550 p. (in Russian).
14. Christke S., Gibson A. G., Grigoriou K., Mouritz A. P. Multi-layer polymer metal laminates for the fire protection of lightweight structures. *Materials & Design*, 2016, vol. 97, pp. 349–356. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.02.105.
15. Sharkov A. V., Korablev V. A., Makarov D. S., Minkin D. A., Nekrasov A. S., Gordeichik A. A. Measurement of high-density heat flux using an automated installation. *Measurement Techniques*, 2016, vol. 59, no. 1, pp. 67–69.

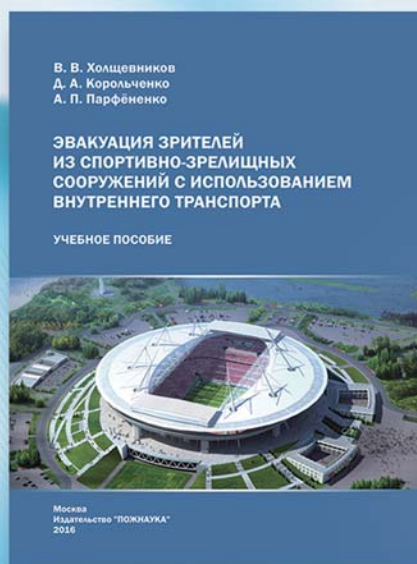
For citation: Korablev V. A., Minkin D. A., Sharkov A. V., Romanov N. N. Thermal regime of fire-protective curtains at high intensive thermal action conditions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 29–36 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.29-36.



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



Холщевников В. В.
Корольченко Д. А.
Парфёненко А. П.

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движения людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

Для заказа книги пишите нам по адресу:

121352, г. Москва, а/я 43,
или звоните по телефону
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:
mail@firepress.ru.

Н. А. ГОРДЕЕВ, инженер по сертификации, АО “Хилти Дистрибьюшн ЛТД”
(Россия, 143441, г. Москва, 69-й км МКАД, Бизнес-парк “Гринвуд”, стр. 3;
e-mail: Nikolay.Gordeev@hilti.com)

Г. Н. ГОДУНОВА, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности
в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26;
e-mail: ica_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.841.345.6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПРОЕМОВ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАДАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМОРАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПЕНЫ И ОГНЕСТОЙКОЙ МОНТАЖНОЙ ПЕНЫ

Исследована возможность обеспечения огнестойкости проемов для прокладки кабельных изделий в противопожарных преградах при использовании терморасширяющейся противопожарной пены. Осуществлено сравнение эффективности применения терморасширяющейся противопожарной пены с огнестойкой монтажной пеной. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие преимущества заполнения проемов в противопожарных преградах терморасширяющейся противопожарной пеной при прокладке через них кабельных изделий. Показано, что кабельная проходка, выполненная из терморасширяющейся противопожарной пены, имеет неоспоримое преимущество по признакам потери теплоизолирующей способности (I) и потери целостности (E) перед кабельными проходками, выполненными из огнестойкой монтажной “розовой” пены. Сделан вывод, что, по-видимому, огнезащитная эффективность огнестойкой монтажной “розовой” пены в наибольшей степени проявляется только для герметизации щелевых отверстий, в которых поперечные размеры щелевого отверстия много меньше толщины ограждающей конструкции.

Ключевые слова: кабельные проходки; терморасширяющаяся противопожарная пена; огнестойкая монтажная пена; огнестойкость; противопожарные преграды; кабели; гофрированная труба.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.37-40

Проблема обеспечения огнестойкости заполнения проемов в противопожарных преградах при прокладке через них кабельных изделий, заделка которых осуществляется не с использованием стандартных кабельных проходок, а путем заполнения пустот герметиками, и в особенности огнестойкими монтажными пенами, была рассмотрена в работах [1–5].

В настоящей работе отражены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие необходимость заполнения проемов в противопожарных преградах терморасширяющейся противопожарной пеной при прокладке через них кабельных изделий.

Целью исследования являлся сравнительный анализ преимуществ и недостатков кабельных проходок, выполненных из огнестойкой “розовой” монтажной пены различных производителей, по сравнению с кабельной проходкой, выполненной с применением терморасширяющейся противопожарной пены.

Испытания проводились по методике ГОСТ Р 53310–2009 [6], предусматривающей прокладку си-

ловых и телевизионных кабелей внутри огнестойких заполнений проемов, в том числе в поливинилхлоридных гофрированных трубах (гофрах) диаметром 16 и 20 мм (рис. 1).

Использование при проведении испытаний вышеуказанных кабельных изделий было связано с необходимостью проверки возможности герметизации (закупорки) пустот в кабельных проходках, неизбежно образующихся при выбранном способе кабельной прокладки (в гофрах), за счет вспучивания материалов кабельных проходок при огневом воздействии [7–9].

Кабельные проходки всех типов выполнялись в проемах размером 300×300 мм, сделанных в жестком фрагменте ограждающей конструкции — перегородке, сложенной из пенобетонных блоков толщиной 150 мм с использованием цементно-песчаного раствора. Предел огнестойкости ограждающей конструкции, в которой устанавливались кабельные проходки, составлял не менее EI 150.

Схема расположения термоэлектрических преобразователей (ТЭП) на каждом из образцов кабель-

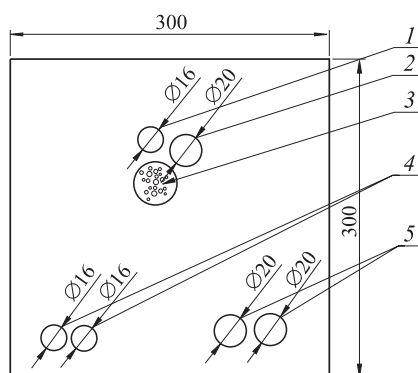


Рис. 1. Схема расположения силового кабеля ШВВП 2×0,5 и ТВ-кабеля RG-64 в проходках: 1 — в гофре 1 ТВ-кабель и 1 силовой; 2 — в гофре 1 ТВ-кабель и 2 силовых; 3 — пучок из 13 силовых и 6 ТВ-кабелей; 4 — в гофре 1 силовой и 1 ТВ-кабель; 5 — в гофре 2 силовых и 1 ТВ-кабель

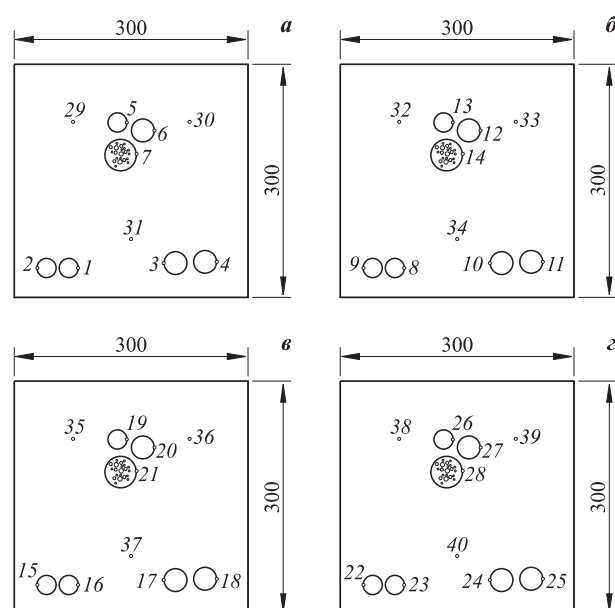


Рис. 2. Схема расположения ТЭП на необогреваемой поверхности образцов кабельных проходок, выполненных из огнестойкой монтажной “розовой” пены (а–в) (производители соответственно А, В, С) и терморасширяющейся противопожарной пены (производитель D) (г): 1–6, 8–13, 15–20, 22–27 — в гофра на расстоянии 50 мм от необогреваемой поверхности проходки; 7, 14, 21, 28 — внутри пучка кабелей на расстоянии 50 мм от необогреваемой поверхности проходки; 29–40 — на необогреваемой поверхности материала проходки

ных проходок с необогреваемой стороны представлена на рис. 2, общий вид образцов кабельных проходок с необогреваемой стороны перед проведением испытаний — на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид образцов кабельных проходок с необогреваемой стороны перед проведением испытаний

Температурный режим и избыточное давление в огневой камере при проведении испытаний соответствовали требованиям [10, 11], приведенным в таблице.

В ходе испытания в соответствии с требованиями [6] контролировались следующие предельные состояния:

- потеря целостности материала кабельной проходки (Е) в результате образования в конструкции заделочного материала сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения и пламя;
- потеря теплоизолирующей способности кабельной проходки (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности заделочного материала более чем на 140 °С.

Результаты проведенных испытаний

При испытании на огнестойкость по признаку потери целостности материала кабельной проходки (Е) в результате образования в конструкции заделочного материала сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения и пламя, наблюдался прорыв пламени с необогреваемой стороны:

- на 5-й минуте проведения испытаний — у образца № 1;
- на 6-й минуте — у образца № 3;
- на 14-й минуте — у образца № 2;
- на 142-й минуте — у образца № 4 (рис. 4).

Температурный режим в печи и избыточное давление по ГОСТ 30247.0–94 [10] и ГОСТ 30247.1–94 [11]

Параметр	Пункт по ГОСТу	Значение параметра, Па	
		по ГОСТу	фактическое
Температурный режим в печи	[10], пп. 6.1, 6.2	$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1)$	В пределах норм
Давление в печи	[11], п. 4.2	10±2	9...11



Рис. 4. Прорыв пламени на необогреваемой поверхности заделочного материала образца № 4

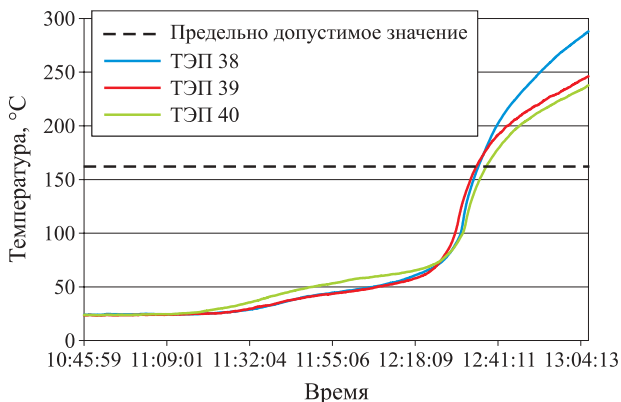


Рис. 5. График изменения температуры на необогреваемой поверхности кабельной проходки с применением терморасширяющейся противопожарной пены (образец № 4) (время начала испытания — 10:45:59, окончания — 13:05:00)

При испытании на огнестойкость по признаку потери теплоизолирующей способности кабельной проходки (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности заделочного материала более чем на 140 °C наблюдалось превышение критического значения температуры на необогреваемой поверхности:

- на 5-й минуте — у образца № 1;
- на 6-й минуте — у образца № 3;
- на 12-й минуте — у образца № 2;
- на 108-й минуте — у образца № 4 (рис. 5).

Резкое снижение теплоизолирующих свойств заделочного материала образца № 4 наблюдалось в районе 99–101 мин от начала огневого воздействия.

Результаты проведенных исследований показали, что кабельная проходка, выполненная из терморасширяющейся противопожарной пены (образец № 4), имеет высокие пределы огнестойкости по признакам Е и I (Е 142/1 108, EI 108) и, следовательно, может использоваться в качестве материала проходов при прокладке кабельных изделий. Это подтверждается также стандартом организации [12], в котором рассмотрены основные правила проектирования и производства работ с применением противопожарных материалов и изделий, используемых в системах противопожарной защиты.

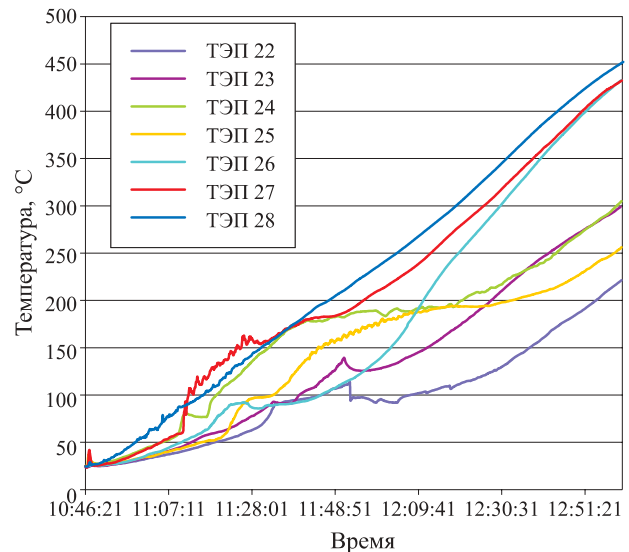


Рис. 6. График изменения температуры на образцах кабельных изделий, проложенных в кабельной проходке с применением терморасширяющейся противопожарной пены (образец № 4) (время начала испытания — 10:45:59, окончания — 13:05:00)

В то же время было выявлено, что противопожарная пена не в полной мере обеспечивает герметизацию (закупорку) пустот в гофрах с проложенными внутри них кабельными изделиями от проникновения продуктов горения из огневой камеры на необогреваемую поверхность заделки, особенно при прокладке кабелей, расположенных в пучке (рис. 6, график для ТЭП 28), что требует дальнейших исследований данного типа проходов.

Как следует из рис. 6, эффект закупорки пустот в полимерной гофрированной трубе (гофре) с проложенными внутри нее кабельными изделиями за счет вспучивания при нагреве терморасширяющейся противопожарной пены проявляется достаточно неоднородно. Наибольшая эффективность работы материала заделки по закупориванию имеющихся внутри гофры пустот в результате вспучивания наблюдается в диапазоне времени от 46 до 92 мин от начала огневого воздействия на кабельную проходку.

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что кабельная проходка, выполненная из терморасширяющейся противопожарной пены, имеет неоспоримое преимущество по признакам потери теплоизолирующей способности (I) и потери целостности (Е) перед кабельными проходками, выполненными из огнестойкой монтажной “розовой” пены. При этом очень низкие пределы огнестойкости по Е и I, полученные для кабельных проходов, выполненных из огнестойкой “розовой” монтажной пены, позволяют сделать вывод, что данный способ заделки кабельных изделий в проемах противопожарных

преград размером 300×300 мм и более нельзя признать удовлетворительным. По-видимому, огнезащитная эффективность огнестойкой “розовой” монтажной пены в наибольшей степени проявляется только для герметизации щелевых отверстий, в которых поперечные размеры щелевого отверстия много меньше, чем толщина ограждающей конструкции.

Выбор правильного решения для обеспечения огнестойкости противопожарных преград с нормируемым пределом огнестойкости при прокладке инженерных коммуникаций является важной задачей, требующей наличия у проектировщиков и исполнителей работ определенных знаний и опыта. Подобрать правильное решение помогает нормативная документация, разрабатываемая в том числе производителями противопожарных материалов и изделий, например стандарт организации [12].

Данный документ устанавливает, во-первых, требования к материалам и изделиям, выпускаемым промышленным способом АО “Хилти Дистрибушн ЛТД” и применяемым в конструкциях кабельных проходок, проходок трубопроводов, воздухопроводов, герметичных кабельных вводов, а также отдельно при выполнении работ по герметизации швов, стыков, уплотнений и отверстий в строительных конструкциях, а во-вторых, методы контроля качества, правила проектирования и производства работ с применением данных материалов и изделий в системах противопожарной защиты Hilti.

Стандарт организации [12] помогает подобрать сертифицированные противопожарные решения при выполнении работ по противопожарной защите на любом этапе жизненного цикла объекта (проектирование, строительство, эксплуатация).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трушкин Д. В., Кандрашкин Е. С. Проблемы обеспечения огнестойкости противопожарных преград при прокладке инженерных коммуникаций // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 12. — С. 15–21.
2. Дегаев Е. Н., Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Огнетушащая эффективность пен из водных растворов алкилсульфатов натрия // Юность и знания — гарантия успеха : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. — Курск : Университетская книга, 2014. — С. 125–128.
3. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 475-476. — P. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344.
4. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Огнетушащая эффективность пены низкой кратности // Научное обозрение. — 2015. — № 8. — С. 114–120.
5. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1070-1072. — P. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
6. ГОСТ Р 53310–2009. Проходки кабельные, вводы герметичные и проходы шинопроводов. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний на огнестойкость. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартинформ, 2009. — 7 с.
7. ГОСТ Р 53307–2009. Конструкции строительные. Противопожарные двери и ворота. Метод испытаний на огнестойкость. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартинформ, 2009. — 35 с.
8. ГОСТ Р 53299–2013. Воздуховоды. Метод испытаний на огнестойкость. — Введ. 01.09.2014. — М. : Стандартинформ, 2014. — 10 с.
9. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.03.2017).
10. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.1996. — М. : Издательство стандартов, 1996. — 11 с.
11. ГОСТ 30247.1–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. — Введ. 01.01.1996. — М. : Издательство стандартов, 1995. — 8 с.
12. СТО 17523759-0001–2017. Системы противопожарной защиты HILTI для применения в строительстве. Общие технические условия. — М. : АО “Хилти Дистрибушн ЛТД”, 2017. — 80 с.

Материал поступил в редакцию 28 марта 2017 г.

Для цитирования: Гордеев Н. А., Годунова Г. Н. Обеспечение огнестойкости проемов для прокладки кабельных изделий в противопожарных преградах при использовании терморасширяющейся противопожарной пены и огнестойкой монтажной пены // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 37–40. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.37-40.

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса пожаротушения, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adinko@mail.ru)

А. Л. ХОЛОСТОВ, д-р техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: holostov@mail.ru)

А. А. ТАРАНЦЕВ, преподаватель кафедры пожарной тактики и службы, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: dask.cradle@mail.ru)

А. О. ЖУКОВ, адъюнкт, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: flubbermanlive@yandex.ru)

УДК 614.8.084,614.843,656.09

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОГИСТИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассмотрена проблема своевременной доставки необходимых грузов на удаленные объекты в Арктической зоне и Сибири. Предложена технология двухэтапной доставки грузов на такие объекты, предполагающая создание промежуточной грузовой площадки, на которую наземным путем доставляются контейнеры со стационарных складов, а уже с этой площадки — вертолетами на объекты. Приведена математическая модель двухэтапной доставки на основе положений теории массового обслуживания, позволяющая решать задачи анализа и синтеза для такой системы доставки. При разработке модели использованы общепринятые допущения теории массового обслуживания. Получены аналитические решения для нахождения вероятностных состояний предложенной модели. Приведен пример решения частного случая задачи анализа описываемой системы.

Ключевые слова: Арктическая зона; аварийные объекты; пожарная безопасность; система доставки грузов; удаленные объекты; модель двухэтапной доставки грузов.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49

Актуальность доставки грузов на удаленные объекты

Современный исторический этап развития Российской Федерации характеризуется интенсивной реализацией планов освоения Арктической зоны (АЗ), Сибири и Дальнего Востока [1–5] — регионов с огромными запасами природных ресурсов, имеющих стратегическое значение. В нашей стране и за рубежом ведется масштабная деятельность по созданию и модернизации в АЗ объектов с высокой степенью автономности — геолого-разведочных баз, добывающих платформ, метеостанций, объектов военной инфраструктуры и др., а также объектов, обеспечивающих работу Северного морского пути.

Функционирование таких объектов предполагает их материальное обеспечение (доставку энергоносителей, оборудования, продовольствия, медикаментов и т. п.), а также своевременную ликвидацию нештатных ситуаций, в том числе пожаров и аварий

[6–11]. Удаленность объектов, их автономность, сложные климатические и метеорологические условия обуславливают актуальность решения вопросов, связанных с разработкой специальных технологий доставки необходимых грузов на эти объекты.

Одним из таких вопросов является своевременная доставка средств локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), так как опоздание может повлечь за собой тяжелые последствия. К таким чрезвычайным ситуациям, в первую очередь, следует отнести: аварийную обстановку с теплоснабжением объектов и населенных пунктов; пожары и аварии, связанные с выбросом (розливом) химически опасных веществ и нефтепродуктов; эпидемии и др. Такие потребности могут возникнуть также при поддержании функционирования военной инфраструктуры.

Для того чтобы минимизировать время доставки в целом, разрабатываются приемы и технические средства, использование которых в различных со-

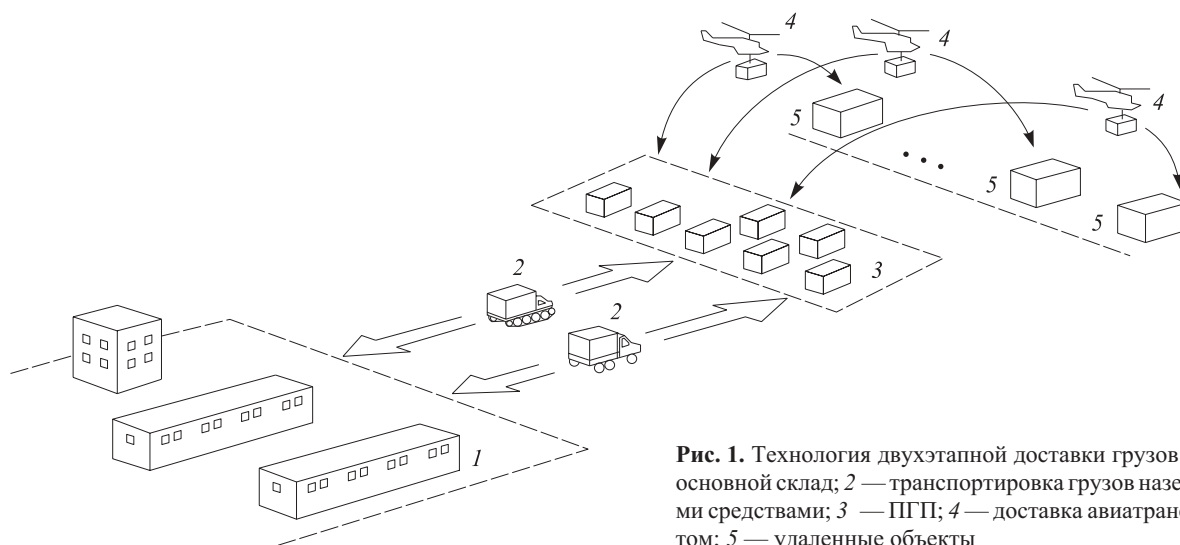


Рис. 1. Технология двухэтапной доставки грузов: 1 — основной склад; 2 — транспортировка грузов наземными средствами; 3 — ПГП; 4 — доставка авиатранспортом; 5 — удаленные объекты

четаниях позволяет сократить время логистических и транспортных операций. Совокупность этих факторов создает предпосылки к выделению решения этой задачи в отдельное понятие — *аварийная логистика*. В общем, ее можно охарактеризовать как набор технологий и совокупность технических средств, позволяющих обеспечить своевременное сосредоточение сил и средств для локализации и ликвидации аварий и ЧС, в случае если они не могут быть доставлены заранее либо их доставка экономически нецелесообразна.

В данной статье будет рассмотрено моделирование процесса доставки необходимых грузов применительно к труднодоступным районам, например, Арктической зоны Российской Федерации, Сибири и Дальнего Востока.

В настоящее время используются несколько технологий доставки — караванная, авиатранспортом, морским путем (специальными судами и ледоколами). Однако наиболее перспективной представляется технология двухэтапной доставки грузов [12], хорошо зарекомендовавшая себя в Архангельской области. Сущность ее заключается в том, что оборудуется специальная промежуточная грузовая площадка (ПГП), на которую с баз и основных складов наземным транспортом перемещаются контейнеры с необходимыми грузами, а затем из ПГП авиатранспортом (как правило, вертолетами) грузы доставляются на удаленные объекты АЗ (рис. 1). При этом протяженность дорогостоящих и метеозависимых челночных вертолетных маршрутов сводится к минимуму.

Таким образом, представляется целесообразным разработать математическую модель двухэтапной доставки для решения задач анализа и синтеза системы доставки грузов на аварийные удаленные объекты.

Постановка задачи моделирования двухэтапной доставки грузов

В качестве математического аппарата для разработки такой модели, по мнению авторов, может быть использована теория массового обслуживания (ТМО) [13], адаптирование методов которой [14] позволит с достаточной адекватностью описать процесс двухэтапной доставки грузов.

Для базовой модели процесса доставки используем следующие общепринятые в ТМО допущения:

а) одна ПГП вместимостью E (т. е. рассчитанная на максимальное количество единиц грузов E) обеспечивает снабжение N удаленных объектов;

б) со стационарного склада на ПГП с интенсивностью μ доставляются контейнеры со средней периодичностью $t_{cp} = \mu^{-1}$, а от каждого i -го из N объектов с интенсивностью λ_i поступают заявки на контейнеры со средней периодичностью $t_i = \lambda_i^{-1}$ ($i = 1, \dots, N$);

в) среднее время поступления контейнеров на ПГП ввиду погодных условий и других факторов может носить случайный характер и подчинено экспоненциальному закону [15] с параметром μ ; периодичность заявок с объектов также случайна (помимо плановых потребностей, может возникать экстренная необходимость в грузах из-за нештатных ситуаций) и подчинена экспоненциальному закону с параметрами $\{\lambda_i\}$. Ряд исследований показывает, что может быть использовано показательное распределение, т. е. распределение Эрланга нулевого порядка [16, 17];

г) процесс приема-обслуживания заявок с объектов (доставки вертолетами контейнеров на удаленные объекты) установившийся.

Тогда двухэтапная доставка грузов может быть представлена в виде системы массового обслуживания (СМО), пребывающей в $\{S\}$ состояниях с соответствующими вероятностями $\{p\}$. Из вероятностей

$\{p\}$ могут быть сформированы обобщенные вероятности состояний СМО: $p_{ш}$ — на объектах штатный режим работы, никаких заявок от них не поступает; $p_{п}$ — хотя бы на одном объекте возникла потребность в получении груза, но ПГП пуста; $p_{к}$ — возникла кризисная ситуация: со всех N объектов поступили заявки на грузы, но ПГП пуста, поэтому возможен полный останов функционирования всего комплекса удаленных объектов.

Задача анализа СМО формулируется следующим образом: известны величины N, E, μ и $\{\lambda_i\}$. Требуется оценить вероятности $p_{ш}, p_{п}$ и $p_{к}$. Задача синтеза в одном варианте может формулироваться так: известны величины $N, E, \{\lambda_i\}$ и заданы ограничения на допустимые значения вероятностей $\{p_{ш}, p_{п}, p_{к}\}^{доп}$. Требуется определить такую интенсивность μ подвоза грузов (на ПГП), при которой будут соблюдаться условия:

$$p_{ш} > p_{ш}^{доп}; p_{п} < p_{п}^{доп}; p_{к} < p_{к}^{доп}. \quad (1)$$

В другом варианте задача синтеза может формулироваться следующим образом: известны величины $N, \mu, \{\lambda_i\}$ и заданы ограничения (1). Требуется определить необходимую емкость ПГП E . Возможны и другие формулировки задачи синтеза.

Математические модели двухэтапной доставки грузов для двух и трех объектов

Случай 1 (общий)

Рассмотрим модели двухэтапного подвоза грузов на два ($N = 2$) и три ($N = 3$) объекта. Графы пере-

ходов для соответствующих им СМО приведены на рис. 2, а и 2, б, описания состояний данных СМО — в табл. 1, выражения для оценки вероятностей $\{p\}$ — в табл. 2.

В частности, для двухобъектной СМО ($N = 2$) обобщенные вероятности $p_{ш}, p_{п}$ и $p_{к}$ могут быть определены по выражениям:

$$p_{ш} = p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1 - \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}}; \quad (2)$$

$$p_{п} = 1 - p_{ш} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}}; \quad (3)$$

$$p_{к} = p_3 = \frac{2\alpha_1\alpha_2}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}}, \quad (4)$$

где α_1, α_2 — приведенные нагрузки для 1-го и 2-го объектов; $\alpha_1 = \lambda_1/\mu, \alpha_2 = \lambda_2/\mu$.

Для трехобъектной СМО ($N = 3$) обобщенные вероятности $p_{ш}, p_{п}$ и $p_{к}$ могут быть определены по выражениям:

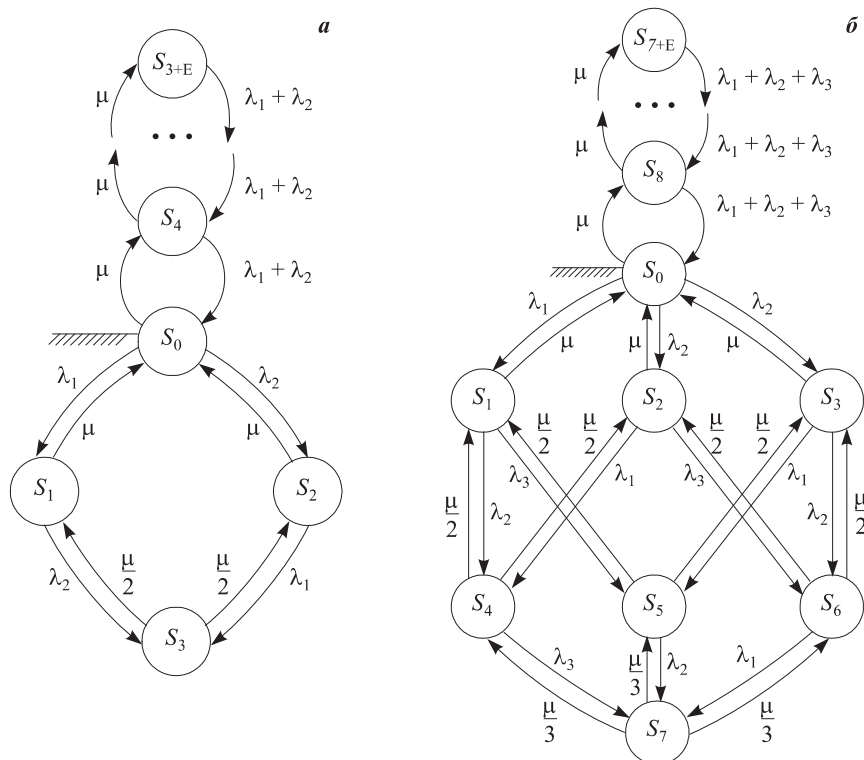


Таблица 1. Состояния системы двухэтапного обслуживания заявок от двух и трех объектов

Граф	{S}	Состояние			
Рис. 2,а N = 2	S ₀	Заявок от объектов не поступило	на ПГП кон-тейнеров нет	S _к	S _п
	S ₁	Поступила заявка от 1-го объекта			
	S ₂	Поступила заявка от 2-го объекта			
	S ₃	Поступили заявки от обоих объектов			
	S ₄	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 1 контейнер			
	S ₅	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 2 контейнера			
	...	...			
	S _{3+E}	Заявок от объектов не поступило, на ПГП E контейнеров			
Рис. 2,б N = 3	S ₀	Заявок от объектов не поступило	на ПГП кон-тейнеров нет	S _к	S _п
	S ₁	Поступила заявка от 1-го объекта			
	S ₂	Поступила заявка от 2-го объекта			
	S ₃	Поступила заявка от 3-го объекта			
	S ₄	Поступили заявки от 1-го и 2-го объектов			
	S ₅	Поступили заявки от 1-го и 3-го объектов			
	S ₆	Поступили заявки от 2-го и 3-го объектов			
	S ₇	Поступили заявки от всех трех объектов			
	S ₈	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 1 контейнер			
	S ₉	Заявок от объектов не поступило, на ПГП 2 контейнера			
	...	...			
	S _{7+E}	Заявок от объектов не поступило, на ПГП E контейнеров			

Таблица 2. Выражения для определения вероятностей состояний СМО

N	Исходные уравнения	Явные выражения
2	$0 = -p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu) + \mu(p_1 + p_2) + (\lambda_1 + \lambda_2)p_4;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_2 + \mu)p_1 + 0,5\mu p_3;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \mu)p_2 + 0,5\mu p_3;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - \mu p_3;$ $0 = \mu p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)p_4 + (\lambda_1 + \lambda_2)p_5;$ $0 = \mu p_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)p_5 + (\lambda_1 + \lambda_2)p_6;$... $0 = \mu p_{N+E} - (\lambda_1 + \lambda_2)p_{N+1+E}$	$p_0^{-1} = 1 + \alpha_1 + \alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_2 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i};$ $p_1 = \alpha_1 p_0; \quad p_2 = \alpha_2 p_0; \quad p_3 = 2\alpha_1\alpha_2 p_0;$ $p_{i+3} = \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2)^{-i}; \quad i = 1, \dots, E$
3	$0 = -p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu) + \mu(p_1 + p_2 + p_3) + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_8;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_2 + \lambda_3 + \mu)p_1 + 0,5\mu(p_4 + p_5);$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_3 + \mu)p_2 + 0,5\mu(p_4 + p_6);$ $0 = \lambda_3 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)p_3 + 0,5\mu(p_5 + p_6);$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_3 + \mu)p_4 + \mu p_7/3;$ $0 = \lambda_3 p_1 + \lambda_1 p_3 - (\lambda_2 + \mu)p_5 + \mu p_7/3;$ $0 = \lambda_3 p_2 + \lambda_2 p_3 - (\lambda_1 + \mu)p_6 + \mu p_7/3;$ $0 = \lambda_3 p_4 + \lambda_2 p_5 + \lambda_1 p_6 - \mu p_7;$ $0 = \mu p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu)p_8 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_9;$ $0 = \mu p_8 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu)p_9 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_{10};$... $0 = \mu p_{N+3+E} - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_{N+4+E}$	$p_0^{-1} = 1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2\alpha_1\alpha_2 + 2\alpha_1\alpha_3 +$ $+ 2\alpha_2\alpha_3 + 6\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i};$ $p_1 = \alpha_1 p_0; \quad p_2 = \alpha_2 p_0; \quad p_3 = \alpha_3 p_0; \quad p_4 = 2\alpha_1\alpha_2 p_0;$ $p_5 = 2\alpha_1\alpha_3 p_0; \quad p_6 = 2\alpha_2\alpha_3 p_0; \quad p_7 = 6\alpha_1\alpha_2\alpha_3 p_0;$ $p_{i+7} = \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}; \quad i = 1, \dots, E$

Примечание. $\alpha_i = \lambda_i/\mu, \quad i = 1, \dots, N; \quad p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + \dots = 1.$

$$p_{\text{ш}} = p_0 + \sum_{i=8}^{7+E} p_i = \frac{1 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2(\alpha_1\alpha_2 + \alpha_1\alpha_3 + \alpha_2\alpha_3) + 6\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}}; \quad (5)$$

$$p_{\text{п}} = 1 - p_{\text{ш}}; \quad (6)$$

$$p_{\text{к}} = p_7 = \frac{6\alpha_1\alpha_2\alpha_3}{1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 2(\alpha_1\alpha_2 + \alpha_1\alpha_3 + \alpha_2\alpha_3) + 6\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + \sum_{i=1}^E (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)^{-i}}, \quad (7)$$

где α_3 — приведенная нагрузка для 3-го объекта;
 $\alpha_3 = \lambda_3/\mu$.

Задача анализа для данных СМО решается прямым вычислением обобщенных вероятностей $p_{\text{ш}}$, $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{к}}$ по выражениям (2)–(7). Задача синтеза несколько сложнее и решается путем подбора параметров μ или E , исходя из условий (1).

Аналогичным образом могут быть построены графы переходов и решаться задачи анализа и синтеза для большого числа N объектов.

Случай 2 (частный)

Если же все N объектов одинаковы и генерируют заявки с одинаковой интенсивностью λ , задача построения моделей СМО несколько упрощается. В табл. 3 приведены перечни состояний $\{S\}$ для N -объектной СМО с вместимостью ПГП E , граф которой представлен на рис. 3, а, а соответствующие им вероятности $\{p\}$ — в табл. 4. Обобщенные вероятности $p_{\text{ш}}$, $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{к}}$ для этого универсального графа,

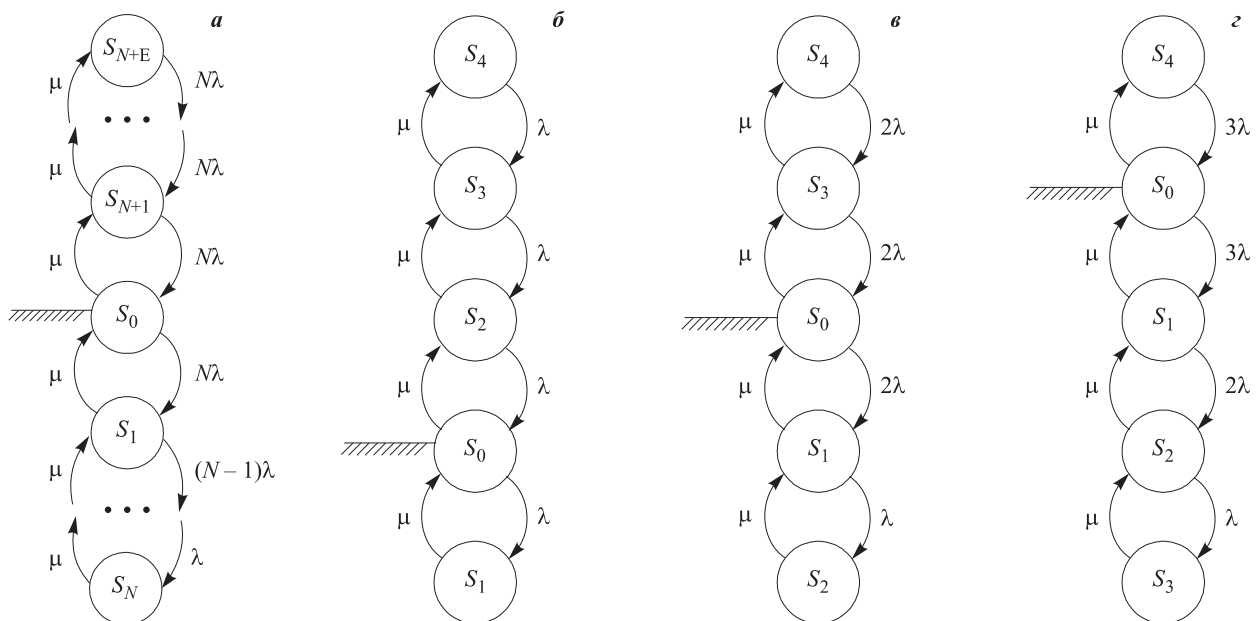


Рис. 3. Графы переходов для СМО с однородными объектами: а — общий случай; б — $N = 1$, $E = 3$; в — $N = 2$, $E = 2$; г — $N = 3$, $E = 1$

Таблица 3. Состояния системы двухэтапного обслуживания заявок от N однородных объектов

Граф	$\{S\}$	Состояние			
Рис. 3,а	S_0	Заявок от объектов не поступало	на ПГП контейнеров нет		S_{Π}
	S_1	Поступила заявка от одного объекта			
	...	...			
	S_N	Поступили заявки от всех N объектов			
	S_{N+1}	Заявок от объектов не поступало, на ПГП 1 контейнер			S_{κ}
	S_{N+2}	Заявок от объектов не поступало, на ПГП 2 контейнера			
	...	...			
	S_{N+E}	Заявок от объектов не поступало, на ПГП E контейнеров			

Таблица 4. Выражения для определения вероятностей состояний СМО на рис. 3,а

Исходные уравнения	Явные выражения
$0 = -p_0(N\alpha + 1) + p_1 + N\alpha p_{N+1};$ $0 = (N - i + 1)\alpha p_{i-1} - [(N - i)\alpha + 1]p_i + p_{i+1}; i = 1, \dots, N - 1;$ $0 = \alpha p_{N-1} - p_N;$ $0 = p_0 - (N\alpha + 1)p_{N+1} + N\alpha p_{N+2};$ $0 = p_{N+1} - (N\alpha + 1)p_{N+2} + N\alpha p_{N+3};$ $\dots$ $0 = p_{N+E+1} - (N\alpha + 1)p_{N+E}$	$p_0^{-1} = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{N! \alpha^i}{(N - i)!} + \sum_{i=N+1}^{N+E} \frac{1}{(N\alpha)^{i-N}};$ $p_i = \frac{N! \alpha^i}{(N - i)!} p_0, i = 1, \dots, N;$ $p_i = \frac{p_0}{(N\alpha)^{i-N}}, i = N + 1, \dots, N + E$
Примечание. $\alpha = \lambda/\mu$, $p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_{N+E} = 1$.	

Таблица 5. Примеры определения вероятностей для различных СМО

Граф	N	E	p_0^{-1}	$p_{ш}/p_0$	p_k/p_0
Рис. 3,б	1	3	$1 + \alpha + 1/(3\alpha) + 1/(9\alpha^2) + 1/(27\alpha^3)$	$1 + 1/(3\alpha) + 1/(9\alpha^2) + 1/(27\alpha^3)$	α
Рис. 3,в	2	2	$1 + 2\alpha + 2\alpha^2 + 1/(2\alpha) + 1/(4\alpha^2)$	$1 + 1/(2\alpha) + 1/(4\alpha^2)$	$2\alpha^2$
Рис. 3,г	3	1	$1 + 3\alpha + 6\alpha^2 + 6\alpha^3 + 1/\alpha$	$1 + 1/\alpha$	$6\alpha^3$

пригодные для решения задач анализа и синтеза, могут быть определены по выражениям:

$$p_{ш} = p_0 + \sum_{i=N+1}^{N+E} p_i = p_0 \left[1 + \sum_{j=1}^E (N\alpha)^{-j} \right]; \quad (8)$$

$$p_k = p_0 N! \alpha^N, \quad (9)$$

где α — приведенная нагрузка, генерируемая каждым из N объектов; $\alpha = \lambda/\mu$;

p_0 — вероятность того, что ни один из N объектов заявок не подал, а на ПГП контейнеров нет.

Вероятность $p_{ш}$ может быть найдена из выражения (6), а вероятность p_0 — из выражения

$$p_0^{-1} = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{N! \alpha^i}{(N - i)!} + \sum_{j=1}^E (N\alpha)^{-j}. \quad (10)$$

Для частных случаев (рис. 3,б–3,г) вероятности, рассчитанные по выражениям (8)–(10), приведены в табл. 5. Например, при $\alpha = 0,1$ согласно рис. 3,б–3,г и табл. 5 получаем:

$N = 1, E = 3: p_0 = 1,902 \%, p_{ш} = 99,82 \%, p_k = 0,190 \%;$

$N = 2, E = 2: p_0 = 3,203 \%, p_{ш} = 99,29 \%, p_k = 0,064 \%;$

$N = 3, E = 1: p_0 = 8,798 \%, p_{ш} = 96,78 \%, p_k = 0,053 \%.$

Полученные оценки вполне согласуются с логикой: действительно, чем больше объектов, тем меньше вероятность, что все они подадут заявки и будут ожидать доставки грузов.

Выводы

1. Полученные выражения для базовых СМО заявок с объектов могут быть использованы в прикладных задачах аварийной логистики для решения задач анализа и синтеза как для штатного режима работы, так и при возникновении на объектах нештатных ситуаций — пожаров, отказов оборудования на труднодоступных объектах и в населенных пунктах, доставку в которые наземным транспортом невозможно осуществить вообще или своевременно.

2. В дальнейшем представляется целесообразным учесть разнообразие грузов (аварийный инструмент, продовольствие, топливо и др.) и заявок по ним при двухэтапной доставке для обеспечения функционирования труднодоступных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу : утв. приказом Президента РФ от 18.09.2008 № Пр-1069. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902149373> (дата обращения: 07.02.2017).
2. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 02.05.2014 № 296. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/38377> (дата обращения: 07.02.2017).
3. Об утверждении Положения о Государственной комиссии по вопросам развития Арктики : постановление Правительства Российской Федерации от 14.03.2015 № 228. URL: <http://government.ru/media/files/Cozw5FAxCGc.pdf> (дата обращения: 07.02.2017).

4. Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Risks of emergencies in Russia's Arctic zone // Issues of Risk Analysis. Scientific and Practical Journal. — 2010. — Vol. 7, No. 4. — 21 p. URL: https://www.dex.ru/par_en/abstracts_of_journal/pdf/PAR_7_4_en.pdf (дата обращения: 07.02.2017).
5. Opportunities and challenges for Arctic oil and gas development / Eurasian Group report for the Wilson Center, Washington, D. C. // OTC Arctic Technology Conference, 10–12 February 2014, Houston, Texas. DOI: 10.4043/24586-MS.
6. Ищенко А. Д. Комплексная готовность персонала аварийно-спасательных формирований в условиях севера // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике, включая вопросы подготовки профильных кадров для работы в северных условиях : материалы международной конференции. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. — С. 86–98.
7. Алешков М. В., Безбородько М. Д. Применение мобильных средств пожаротушения для защиты объектов атомной энергетики от крупных пожаров в условиях экстремально низких температур // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 3. — С. 37–45.
8. Алешков М. В. Особенности тушения крупных пожаров на территории Российской Федерации при внешнем воздействии опасных природных явлений // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 59–64.
9. Алешков М. В. От концепции создания до разработки основного пожарного автомобиля северного исполнения // Пожарная безопасность. — 2012. — № 3. — С. 131–135.
10. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Первичные средства пожаротушения для Арктики // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 66–74. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74.
11. Makhutov N. A., Moskvichev V. V., Fomin V. M. Designing machinery for the Arctic: A problem of socioeconomic development of Russia's eastern regions // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2015. — Vol. 85, No. 1 — P. 79–86. DOI: 10.1134/s1019331615010104.
12. Дагиров Ш. Ш., Алешков М. В., Ищенко А. Д., Роевко В. В. Перспективы применения отдельных технических достижений для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в арктическом регионе // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в арктическом регионе. Безопасный город в Арктике : материалы Международной научно-практической конференции, 6–8 апреля 2016 г., г. Звенигород. — М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. — С. 146–155.
13. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М. : Советское радио, 1972. — 552 с.
14. Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб. : Наука, 2007. — 175 с.
15. Таранцев А. А. Случайные величины и работа с ними. — СПб. : Изд. дом “Петрополис”, 2011. — 158 с.
16. Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 11–17.
17. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Вагнер П., Коломиец Ю. И. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : ФАЗИС, 2004. — 172 с.

Материал поступил в редакцию 13 февраля 2017 г.

Для цитирования: Ищенко А. Д., Холостов А. Л., Таранцев А. А., Жуков А. О. Моделирование элементов логистики в чрезвычайных ситуациях на труднодоступных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 41–49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49.

MODELING OF THE ELEMENTS OF LOGISTICS IN EMERGENCY SITUATIONS ON THE DISTANT OBJECTS

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Fighting Science and Training Centre Fire Fighting Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adinko@mail.ru)

KHOLOSTOV A. L., Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of Electrical Engineering, Automated Systems and Communication Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: holostov@mail.ru)

TARANTSEV A. A., Lecturer of Fire Tactics and Service Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: dask_cradle@mail.ru)

ZHUKOV A. O., Graduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: flubbermanlive@yandex.ru)

ABSTRACT

The problem of timely delivery of needed goods to remote objects in the Arctic region and Siberia is shown here. Distance of objects, their autonomy functioning, complex climate and weather conditions determine the relevance of solving problems related to the development of special technologies in the delivery of needed goods to these objects. A two-stage technology for delivering goods is proposed in order to minimize delivery time of the goods which are required to extinguish a fire or emergency response. It involves the creation of intermediate goods platforms (IGP). The containers from the stationary stores move there, and from these platforms they move to the objects by helicopters.

The queuing theory is used as a mathematical apparatus. Common assumptions are used for the development of the model: goods area has a capacity E , the number of the supplied objects N , container shipping from warehouses to the goods platform is carried out with intensity μ , requests for containers of objects N comes with an intensity λ , the values λ and μ are the parameters of the exponential distribution laws. The average time of the receipt of the containers to platforms and requests from objects N is random. The process of receiving applications and sending containers to distant objects is steady. The model of the two-stage delivery of goods is presented in the form of a queuing system (QS), abiding in $\{S\}$ states with the corresponding probabilities $\{p\}$.

QS analysis problem is formulated as follows: the values N, E, μ and $\{\lambda_i\}$ are known. It is required to assess the probabilities p_{staff} , p_{demand} and p_{crisis} . The problem of synthesis in one variant may be formulated as follows: the values $N, E, \{\lambda_i\}$ are known, the limits on the allowable values of probabilities are set $\{p_{staff}, p_{demand}, p_{crisis}\}^{add}$. It is required to determine the intensity μ of the transportation of goods, to observe the conditions:

$$p_{staff} > p_{staff}^{add}; p_{demand} < p_{demand}^{add}; p_{crisis} < p_{crisis}^{add}, \quad (1)$$

In another variant, the synthesis problem can be formulated as follows: the values $N, \mu, \{\lambda_i\}$ are known and the limits are set (1). It is required to determine the necessary capacity IGP E . There are other possible formulations of the synthesis problem.

Models of delivery of goods for two or three distant objects are shown. Expressions to determine the probabilities of conditions of two-stage goods delivery system are presented for these cases. A special case when all N of the objects are the same and can generate applications with the same intensity λ is also shown here. These expressions can be used to deliver goods to distant objects to solve the problems of analysis and synthesis, both for normal operation and also for the appearance of abnormal situations — fires, accidents, equipment failures, inaccessible objects, where it is impossible or untimely to deliver the goods.

Keywords: Arctic zone; emergency facilities; fire safety; goods delivery system; distant objects; two-stage model of delivery.

REFERENCES

1. *The foundations of state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period till 2020 and further prospect*. Presidential order on 18.09.2008 No. Pr-1069 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902149373> (Accessed 7 February 2017).
2. *About land territories of the Arctic zone of the Russian Federation*. Presidential Decree on 02.05.2014 No. 296 (in Russian). Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/38377> (Accessed 7 February 2017).
3. *On approval of the Regulations on the State Commission on development of the Arctic*. Resolution of the RF Government on 14.03.2015 No. 228 (in Russian). Available at: <http://government.ru/media/files/Cozw5FAxCGc.pdf> (Accessed 7 February 2017).

4. Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Risks of emergencies in Russia's Arctic zone. *Issues of Risk Analysis. Scientific and Practical Journal*, 2010, vol. 7, no. 4. 21 p. Available at: https://www.dex.ru/par_en/abstracts_of_journal/pdf/PAR_7_4_en.pdf (Accessed 7 February 2017).
5. Opportunities and challenges for Arctic oil and gas development. Eurasian Group report for the Wilson Center, Washington, D. C. In: *OTC Arctic Technology Conference, 10–12 February 2014, Houston, Texas*. DOI: 10.4043/24586-MS.
6. Ishchenko A. D. Integrated preparedness of SAR personnel for operations in the northern areas. In: *Problemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy v Arktike, vklyuchaya voprosy podgotovki profilnykh kadrov dlya raboty v severnykh usloviyakh: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Proceedings of International Conference “Challenges in Emergency Preparedness and Response in the Arctic. Staffing Issues”]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2014, pp. 86–98 (in Russian).
7. Aleshkov M. V., Bezborodko M. D. Application of movable fire extinguishment means for protecting nuclear power plants from large fires under extremely low temperature conditions. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 3, pp. 37–45 (in Russian).
8. Aleshkov M. V. Peculiarities extinguishing large-scale fires on the territory on the Russian Federation under the external effect of hazardous natural phenomena. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 59–64 (in Russian).
9. Aleshkov M. V. From designing concept to development of the basic fire appliance (version for the north). *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 3, pp. 131–135 (in Russian).
10. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye., Ryazantsev N. N. First-aid fire equipment for Arctic Region. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 66–74 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74.
11. Makhutov N. A., Moskvichev V. V., Fomin V. M., Designing machinery for the Arctic: A problem of socioeconomic development of Russia's eastern regions. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 85, no. 1, pp. 79–86. DOI: 10.1134/s1019331615010104.
12. Dagiroy Sh. Sh., Aleshkov M. V., Ishchenko A. D., Roenko V. V. Prospects of application of certain technical advances for the prevention and liquidation of emergency situations in the Arctic region. In: *Problemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy v arkticheskom regione. Bezopasnyy gorod v Arktike: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of prevention and liquidation of emergency situations in the Arctic region. Safe city in the Arctic. Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Moscow, FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2016, pp. 146–155 (in Russian).
13. Ventsel E. S. *Issledovaniye operatsiy* [Operations research]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1972. 552 p. (in Russian).
14. Tarantsev A. A. *Inzhenernyye metody teorii massovogo obsluzhivaniya* [Engineering methods of theory of mass service]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2007. 175 p. (in Russian).
15. Tarantsev A. A. *Sluchaynyye velichiny i rabota s nimi* [Random variables and work with them]. Saint Petersburg, Petropolis Publ., 2011. 158 p. (in Russian).
16. Alekhin E. M., Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. About Erlang's distribution and some its applications. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 11–17 (in Russian).
17. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Alekhin E. M., Wagner P., Kolomiyets Yu. I. *Bezopasnost gorodov. Imitatsionnoye modelirovaniye gorodskikh protsessov i sistem* [City safety. Simulation modeling of city processes and systems]. Moscow, FASIS Publ., 2004. 172 p. (in Russian).

For citation: Ishchenko A. D., Kholostov A. L., Tarantsev A. A., Zhukov A. O. Modeling of the elements of logistics in emergency situations on the distant objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 41–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49.

В. И. ПРИСАДКОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: z080637@yandex.ru)

Д. В. УШАКОВ, начальник отдела, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: k708@yandex.ru)

В. В. ЛИЦКЕВИЧ, старший научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

С. Ю. ХАТУНЦЕВА, старший научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: lu2986@yandex.ru)

Н. В. СОБОЛЕВ, генеральный директор ООО "ТехИнСПАС" (Россия, 600000, г. Владимир, ул. Большая Московская, 1, оф. 2; e-mail: molot33@rambler.ru)

УДК 64.841

ОЦЕНКА РИСКА ОПУСКАНИЯ ОБОЛОЧКИ ВОЗДУХООПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

При эвакуации людей из воздухоопорных сооружений (ВОС) во время пожара возникает риск опускания оболочки за счет истечения воздуха через дверные проемы. Предложена модель для оценки критического времени $t_{кр}$ опускания оболочки, за которое объем ВОС уменьшается до предельного значения, например в два раза по сравнению с рабочим объемом. Установлено, что критическое время является суммой времен t_1 и t_2 . За время t_1 рабочее избыточное давление в ВОС уменьшается при постоянном объеме оболочки до критического значения, при котором происходит опускание оболочки. За время t_2 объем ВОС уменьшается до предельного (критического) значения $V_{кр}$. Получены аналитические выражения для определения t_1 и t_2 с учетом работы вентиляторов подпора воздуха в оболочку. Приведен пример расчета критического избыточного давления $\Delta P_{кр}$ для оболочки с реальными параметрами. Расчетами подтверждено наличие риска опускания оболочки в процессе эвакуации.

Ключевые слова: воздухоопорное сооружение; время опускания оболочки; коэффициент расхода; открытые двери эвакуационных выходов; критическое время эвакуации; индивидуальный пожарный риск.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.50-57

Введение

Воздухоопорные сооружения (ВОС) привлекают пользователей и строителей возможностью быстрого возведения, прекрасными весовыми характеристиками, многофункциональностью использования, возможностью быстрого изменения их назначения.

В России первые пожарно-технические исследования ВОС начали проводиться в 80–90-е годы XX столетия Т. Г. Меркушиной, В. С. Харитоновым, Е. И. Назаровым [1]. Имеются данные и о зарубежных исследованиях в этой области [1–3].

В те же годы в связи с высокими пожароопасными характеристиками материалов оболочек (по современной классификации они бы были отнесены к группам горючести Г2–Г3) основное внимание сосредотачивалось на вопросах:

- исследования пожароопасных характеристик материала оболочек;
- изучения распространения горения по оболочке при наличии модельного очага пожара внутри оболочки или снаружи рядом с ней;

- динамики изменения температуры внутри оболочки и задымления ее объема.

Вместе с тем уже первые исследования показали, что существует риск опускания оболочки во время эвакуации людей при пожаре при открытии части или всех эвакуационных выходов. Ниже приведены результаты по оценке риска опускания оболочки, приводящего к блокированию эвакуационных выходов, с учетом требований [4]. Они показывают, насколько актуальны современные конструктивные решения, в частности устройство защитных дуг на путях эвакуации с целью повышения их надежности.

Воздухоопорные сооружения обладают повышенной пожарной опасностью по следующим причинам:

- 1) материалы оболочек относятся к группе горючих материалов; степень огнестойкости ВОС — V;
- 2) весьма часто двери на путях эвакуации из ВОС открываются против направления эвакуации;

- 3) избыточное давление, поддерживающее оболочку в устойчивом положении, в том числе при атмосферных воздействиях, быстро падает во время эвакуации при открытии дверей (ворот). В результате возникает риск опускания оболочки и ее “заплескивания” при малых избыточных давлениях;
- 4) существует риск потери герметичности оболочек при пожаре, что будет иметь те же последствия, что и при открытии дверей на путях эвакуации.

В связи с вышеизложенным при рассмотрении пожарной опасности оболочек необходимо, кроме требований по безопасности людей, учитывать риск уменьшения объема оболочки. За критическое (предельное) состояние оболочки примем уменьшение объема ВОС, например, в 2 раза относительно номинального.

ВОС могут быть отнесены к уникальным сооружениям, особенно с учетом возможности управления “атмосферой” внутри оболочки [5–11] в зависимости от параметров среды вне ее: давления, скорости ветра, снеговой нагрузки и ее возможного обледенения.

При эксплуатации контроль за параметрами, влияющими на пожарную опасность оболочки, величиной избыточного давления воздуха и температурой воздуха в ВОС реализуется через параметры воздуха, подаваемого в оболочку.

В ряде важных случаев можно принять, что во время эвакуации пожар внутри оболочки не приводит к ее разрушению и горению. Такая ситуация возникает при расположении очага пожара на уровне пола, вдали от периметра сооружения, во встроенном административно-бытовом блоке, а также при тлеющих пожарах, при отсутствии мощного факельного горения внутри ВОС [1]. В этом случае происходит задымление ВОС и, как следствие, возникает необходимость в эвакуации людей из-за риска наступления критических значений опасных факторов пожара на путях эвакуации.

Риск опускания оболочки при пожаре характеризуется критическим временем опускания $t_{кр}$. При этом диапазон изменения избыточного рабочего давления ΔP составляет 150–250 Па, а внутренней средней температуры ΔT — до 10 К.

С учетом истечения воздуха из оболочки в атмосферу со стандартными физическими условиями (давление $P_0 \cong 10^5$ Па, температура $T_0 \sim 273$ К) и относительными колебаниями давления и температуры $\Delta P/P_0 \ll 1$, $\Delta T/T_0 \ll 1$ примем, что воздух, выходящий из ВОС через проемы, можно рассматривать как несжимаемый газ плотностью ρ (кг/м³).

Эвакуационные выходы из ВОС открываются после возникновения пожара через интервал вре-

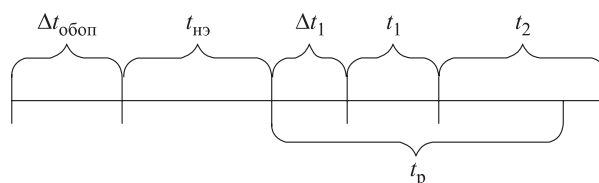


Рис. 1. Последовательность интервалов времени опускания оболочки ВОС

мени $\Delta t_{обоп} + t_{нз} + \Delta t_1$ (где $\Delta t_{обоп}$ — время обнаружения и оповещения людей в ВОС о пожаре; $t_{нз}$ — время начала эвакуации [12]; Δt_1 — время подхода эвакуирующихся людей к выходам).

Время опускания оболочки до высоты, при которой объем уменьшается до критического, представим как

$$t_{кр} = t_1 + t_2,$$

где t_1 — время после открытия выходов и уменьшения избыточного рабочего давления в оболочке до $\Delta P_{кр} = \Delta P(t_1)$;

t_2 — время с момента начала опускания оболочки до достижения критического (предельного) объема $V_{кр} = V_0/2$;

V_0 — рабочий объем оболочки.

Предполагается, что опускание оболочки происходит при избыточном давлении $\Delta P_{кр}$, уравнивающим вес оболочки G (без учета колебаний в плотности воздуха внутри и вне оболочки за счет разности температур):

$$\Delta P_{кр} = Mg/S, \quad (1)$$

где M — масса оболочки, кг;

g — сила тяжести, м/с²;

S — площадь пола ВОС, м².

Расчетное время эвакуации t_p (с) должно отвечать условию $t_p - \Delta t_1 < t_1 + t_2$ (рис. 1) и определяется по [12].

Объем воздуха, выходящий из оболочки за 1 с через n дверей, V (м³/с) [13, 14] определяется по выражению

$$V = \mu_{отв} n S_0 \sqrt{2\Delta P/\rho}, \quad (2)$$

секундный расход газа $\dot{m}$ (кг/с) — по формуле

$$\dot{m} = \mu_{отв} n S_0 \sqrt{2\rho\Delta P}, \quad (2a)$$

где $\mu_{отв}$ — коэффициент расхода, учитывающий сжатие струи и сопротивление проемов дверей; примем $\mu_{отв} = 0,62$ [14];

S_0 — площадь в свету одной двери, м².

Согласно закону Менделеева – Клайперона количество воздуха в оболочке m_0 и m_1 (кг) определяется по формулам:

- при $t = 0$ (момент открытия дверей) и перед опусканием оболочки

$$m_0 = \frac{(P_0 + \Delta P_0) V_0 \mu}{RT_0}; \quad (3)$$

- при $t = t_1$

$$m_1 = \frac{(P_0 + \Delta P_{кр}) V_0 \mu}{R T_0}, \quad (3a)$$

где R — универсальная газовая постоянная;

$R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$;

μ — молярная масса воздуха; $\mu = 0,029 \text{ кг/моль}$.

Постановка задачи

В зальном помещении ВОС возникает загорание, не приводящее к прогару оболочки. В здании находится расчетное количество людей, которые обнаруживают пожар через время $t_{обоп}$ и начинают эвакуироваться через время $t_{нз}$. Среднее время подхода людей к эвакуационным выходам Δt_1 , т. е. через $t_{обоп} + t_{нз} + t_1$ после начала пожара эвакуационные выходы открываются.

Через открытые дверные проемы воздух выходит наружу при постоянном объеме оболочки V_0 . В результате давление изменяется от ΔP_0 до $\Delta P_{кр}$ за время t_1 . При $t \geq t_1$ оболочка начинает опускаться при квазистатическом давлении $\Delta P = \Delta P_{кр}$. За время t_2 объем оболочки уменьшается до предельного значения $V_2 = V_0/2$.

Расчетное время эвакуации должно удовлетворять условию

$$t_p < t_1 + t_2 + \Delta t_1. \quad (4)$$

Теория оценки t_1 и t_2

Обозначим абсолютное давление P , плотность газа ρ_0 и массу газа m_0 в начальный момент времени в оболочке:

$$P(t = 0) = P_0 + \Delta P_0; \quad m(t = 0) = m_0,$$

где ΔP_0 — избыточное давление в ВОС в момент открытия дверей.

Из уравнения Менделеева – Клайперона при $V = V_0$ и $T = T_0 = \text{const}$ находим:

$$V_0 \frac{dP}{dt} = \frac{R T_0}{\mu} \frac{dm}{dt}. \quad (5)$$

Приняв согласно закону Менделеева – Клайперона $m_0/P_0 = V_0 \mu / (R T_0)$, из (5) получим:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_0}{m_0} \frac{dm}{dt}, \quad (6)$$

где $dP/dt < 0$; $dm/dt < 0$.

Так как $P = P_0 + \Delta P = P_0(1 + \Delta P/P_0)$, где $\Delta P/P_0 \leq 250/10^5 = 2,5 \cdot 10^{-3} \ll 1$, можно положить в инженерных расчетах $P \cong P_0$. Тогда из выражения (6) получим

$$\frac{dP}{P} = \frac{\dot{m}}{m_0} dt. \quad (7)$$

Полагая $\dot{m} \cong \dot{m}_{кр}$, проинтегрируем (7):

$$\int_{P_0 + \Delta P_0}^{P_0 + \Delta P_{кр}} \frac{dP}{P} = \frac{\dot{m}_{кр}}{m_0} \int_0^{t_1} dt,$$

откуда

$$\ln \frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} = \frac{\dot{m}_{кр}}{m_0} t_1,$$

или

$$\frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} = e^{(\dot{m}_{кр}/m_0) t_1}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{m}_{кр} &= - \frac{\dot{m}(\Delta P_0) + \dot{m}(\Delta P_{кр})}{2} = \\ &= - \frac{n S_0 \mu_{отв} \sqrt{2 \rho_0} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из выражения (8) найдем время t_1 , за которое давление в ВОС уменьшится с ΔP_0 до $\Delta P_{кр}$:

$$t_1 = \ln \frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} \frac{m_0}{\dot{m}_{кр}}. \quad (10)$$

Если учесть, что

$$\begin{aligned} \ln \frac{P_0 + \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} &= \ln \left(1 - \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0 + \Delta P_0} \right) \cong \\ &\cong \ln \left(1 - \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0} \right) = - \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0}, \end{aligned}$$

то

$$t_1 = \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0} \frac{m_0}{|\dot{m}_{кр}|}. \quad (11)$$

Из формулы (11) получим с учетом выражения (9)

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{\Delta P_0 - \Delta P_{кр}}{P_0} \frac{\sqrt{2} m_0}{n S_0 \mu_{отв} \sqrt{\rho_0} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)} = \\ &= \frac{\sqrt{2} \left(\sqrt{P_1} - \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{P_0} \frac{m_0}{n S_0 \mu_{отв} \sqrt{\rho_0}} = \\ &= \frac{\sqrt{2} \left(\sqrt{P_1} - \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{P_0} \frac{P_0 V_0 \mu}{R T_0 \sqrt{\rho_0}} \frac{1}{n S_0 \mu_{отв}} = \\ &= \frac{\sqrt{2} V_0 \mu \left(\sqrt{P_1} - \sqrt{\Delta P_{кр}} \right)}{R T_0 \sqrt{\rho_0} n S_0 \mu_{отв}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Время опускания оболочки t_2 определяется из условия уменьшения рабочего объема ВОС в 2 раза при избыточном давлении $P_{кр}$:

$$n S_0 \mu_{отв} \sqrt{\frac{2 \Delta P_{кр}}{\rho_0}} t_2 = \frac{V_0}{2}, \quad (13)$$

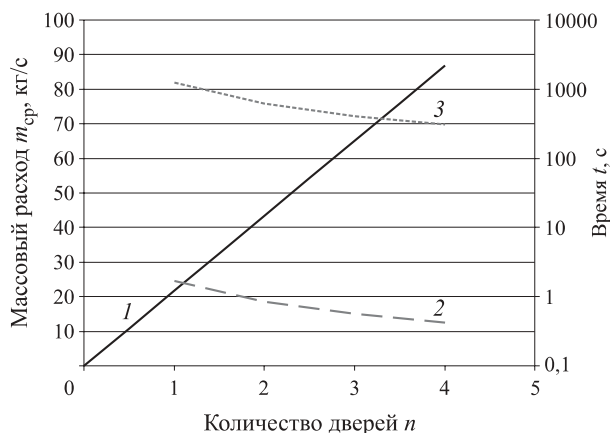


Рис. 2. Зависимость среднего расхода воздуха m_{cp} (1) и времен t_1 (2) и t_2 (3) от количества открываемых дверей

т. е.

$$t_2 = \frac{V_0}{2n S_0 \mu_{отв}} \sqrt{\frac{\rho_0}{2\Delta P_{кр}}} \quad (14)$$

На рис. 2 приведена зависимость величины t_2 от количества дверей, открываемых при эвакуации, для условий примера, рассмотренного ниже.

Пример

Воздухоопорное сооружение для занятий нетехническими видами спорта (командными, индивидуальными) имеет размеры в плане 38,0×93,0 м и максимальную высоту около 13 м. Площадь сооружения — 3534 м², объем — 24 тыс. м³. В ВОС встроен одноэтажный административно-хозяйственный блок размером 24,0×14,0×3,0 м, на покрытии которого расположены трибуны на 214 посадочных мест. Максимальное количество одновременно занимающихся спортом — 68 чел.

В ВОС предусмотрены 4 эвакуационных выхода наружу размером в свету 1,2×2,0 м и грузовые ворота размером 3,0×2,0 м. Площадь двери — 2,4 м², ворот — 6,0 м². Масса оболочки $M = 12760$ кг. Ткань — армированный эластомер.

Подпор воздуха в оболочку предусмотрен от двух вентиляционных агрегатов, обеспечивающих приток воздуха в объеме 35 тыс. м³/ч каждый. Атмосферное давление $P_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па, расчетная температура $T_0 = 290$ К, молярная масса воздуха $\mu = 0,029$ кг/моль, коэффициент расхода $\mu_{отв} = 0,62$; время обнаружения пожара и оповещения о нем $t_{обоп} = 0,5$ мин; время начала эвакуации $t_{нз} = 30$ с; время подхода эвакуирующихся к выходам наружу и открытия дверей $\Delta t_2 = 0,5$ мин; плотность воздуха $\rho_0 = 1,29$ кг/м³, рабочее избыточное давление в ВОС $\Delta P_0 = 150$ Па, $g = 9,8$ м/с².

По формуле (1) рассчитаем критическое избыточное давление в ВОС:

$$\Delta P_{кр} = Mg/S = (12760 \cdot 9,8)/3534 = 35,2 \text{ Па.}$$

При одной открытой эвакуационной двери расход воздуха через дверь составит:

- максимальный:

$$\dot{m}(\Delta P_0) = 0,62 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,29 \cdot 150} = 29,3 \text{ кг/с;}$$

- минимальный в конце цикла при давлении $P_{кр}$:

$$\dot{m}(\Delta P_{кр}) = 0,62 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,29 \cdot 35,2} = 14,2 \text{ кг/с.}$$

Средний массовый расход воздуха

$$|\dot{m}_{cp}| = \frac{29,3 + 14,2}{2} = 21,7 \text{ кг/с.}$$

Подставляя в формулу (12) значения параметров при одной открытой двери, получим:

$$t_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot 27 \cdot 10^3 \cdot 0,029 (\sqrt{150} - \sqrt{35})}{8,3 \cdot 290 \cdot \sqrt{1,29} \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 0,62} = 1,7 \text{ с.}$$

При n открытых эвакуационных дверях время t_1 уменьшится в n раз.

Для очень больших по объему воздухоопорных сооружений t_1 может увеличиться до 10–30 с.

Далее оценим время опускания оболочки t_2 исходя из предельного значения по объему без учета работы вентиляторов подпора воздуха в ВОС.

По формуле (14) при одной открытой двери находим:

$$t_2 = \frac{27 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 2,4} \sqrt{\frac{1,29}{2 \cdot 35}} = 1,232 \cdot 10^3 \text{ с} = 20,52 \text{ мин.}$$

При четырех открытых эвакуационных дверях время опускания оболочки уменьшится в 4 раза и составит 5,1 мин.

Время опускания оболочки t_2 обратно пропорционально количеству открываемых дверей и их площади S_0 .

На рис. 3 приведена динамика избыточного давления газа и объема ВОС в процессе эвакуации.

В соответствии с принятой формой [4, 5] запишем необходимое время эвакуации из ВОС с учетом риска опускания оболочек ВОС:

$$t_{нб} = \min(t_{обоп} + t_{нз} + \Delta t_1 + t_1 + t_2, t_{бл}), \quad (15)$$

где $t_{бл}$ — время блокирования эвакуационных выходов опасными факторами пожара по методике [5].

Увеличение критического времени опускания оболочки может быть достигнуто за счет увеличения количества подаваемого воздуха при пожаре в оболочку.

Так как время до начала опускания оболочки t_1 значительно меньше времени t_2 , должны быть предусмотрены мероприятия, увеличивающие время t_2 или создающие условия для предотвращения опускания оболочки при открытии дверей.

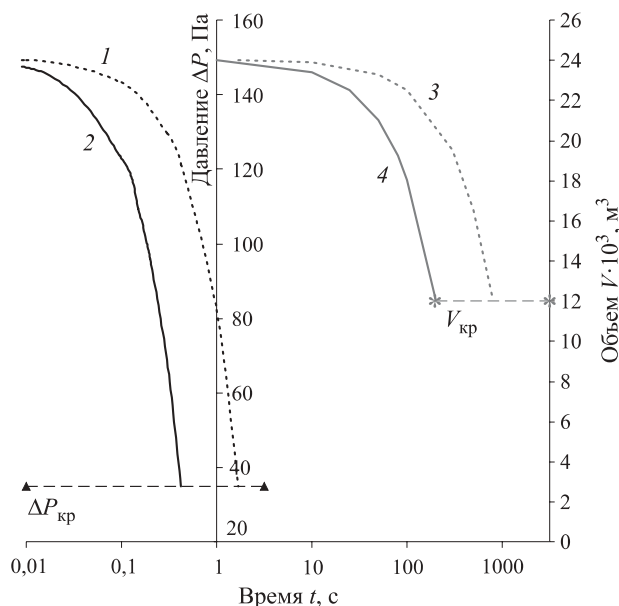


Рис. 3. Зависимость избыточного давления ΔP (1, 2) и объема V (3, 4) оболочки от времени t и количества открываемых дверей: 1, 3 — $n = 1$; 2, 4 — $n = 4$

Иначе говоря, подача воздуха в оболочку при пожаре вентиляционными агрегатами должна превышать потери воздуха через открытые проемы (по объему). Из формулы (2) находим:

$$\dot{Q} > n \mu_{\text{отв}} S \sqrt{2P_0/\rho}, \quad (16)$$

где $\dot{Q}$ — подача воздуха в ВОС всеми вентиляторами подпора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для оболочки, рассмотренной в примере, при четырех открытых эвакуационных дверях

$$\dot{Q} > 4 \cdot 0,62 \cdot 2,4 \sqrt{\frac{2 \cdot 35}{1,29}} = 43,8 \text{ м}^3/\text{с} = 157680 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По-видимому, для относительно небольших оболочек такие расходы обеспечить сложно, как и в рассмотренном примере ($\dot{Q} = 70000 \text{ м}^3/\text{ч}$), поэтому целесообразно идти по пути увеличения интервалов времен t_1 и t_2 .

Критерием в этом случае является выполнение условия

$$t_{\text{обоп}} + t_{\text{нз}} + \Delta t_1 + t_1 + t_2 < t_{\text{бл}}. \quad (17)$$

При этом формулу (9) для расчета средних массовых расходов воздуха “через двери” следует записать в виде

$$|\dot{m}_{\text{кр}}| = n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{\rho_1}{2}} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{\text{кр}}} \right) - \dot{Q}$$

при

$$|\dot{m}_{\text{кр}}| = n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{\rho_1}{2}} \left(\sqrt{\Delta P_0} + \sqrt{\Delta P_{\text{кр}}} \right) > \dot{Q} \quad (18)$$

и далее воспользоваться вышеприведенными формулами для оценки t_1 (формула (12)).

Для оценки t_2 формула (14) запишется в виде:

$$t_2 = \frac{V_o}{2} \left(n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{кр}}}{\rho}} - \dot{Q} \right)^{-1}$$

при

$$\dot{Q} < n S_o \mu_{\text{отв}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{\text{кр}}}{\rho}}. \quad (19)$$

Выводы

1. Предложено оценивать время опускания оболочки воздухоопорных сооружений, характеризующееся временем уменьшения объема ВОС до некоторого критического значения, суммой двух времен: времени снижения рабочего давления в оболочке до критического значения при постоянном объеме оболочки t_1 и времени уменьшения объема оболочки до критической величины при квазистатическом критическом давлении t_2 .

2. Критическое избыточное давление в оболочке определяется через массу ВОС и площадь его основания.

3. Получены аналитические оценки для определения времен t_1 и t_2 в условиях задымления оболочки при внутреннем пожаре без наступления прогара оболочки.

4. Выяснено, что ведущим параметром при определении критического времени опускания оболочки является фактор времени t_2 .

5. Предложено для снижения риска опускания оболочки использовать вентиляторы подпора воздуха в нее. Получены выражения для оценки влияния объема нагнетаемого воздуха в оболочку на значения t_1 и t_2 и, как следствие, на снижение характеристик пожарного риска оболочки.

6. Для повышения точности расчетов необходимо экспериментально определить коэффициент расхода воздуха $\mu_{\text{отв}}$ через открытые дверные проемы ВОС.

7. Необходимо учитывать, что полученные оценки времен t_1 и t_2 являются нижними оценками, так как при эвакуации двери открыты не полностью. Этот вопрос требует дополнительного исследования.

Выражаем глубокую благодарность профессору Т. Г. Меркушкиной и канд. техн. наук В. С. Харитонову за предоставленные материалы по ВОС, позволяющие понять физику процесса опускания оболочек при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркушкина Т. Г. Обоснование и метод расчета продолжительности эвакуации людей из тентовых сооружений в условиях пожара : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ им. Куйбышева В. В., 1978. — 125 с.
2. Stroi-Archive. Все о строительстве и ремонте. Безопасность и надежность воздухоопорных зданий. URL: <http://stroj-archive.ru/vozdushoopornye-zdaniya/355-bezopasnost-i-nadezhnost-vozdushoopornyh-zdaniy.html> (дата обращения: 02.11.2016).
3. Ермолов В. В. Воздухоопорные здания и сооружения. — М. : Стройиздат, 1980. — 304 с.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 02.11.2016).
5. Ким А. Ю. Численное исследование нелинейных мембранно-пневматических систем / СГАУ. — Саратов, 2001. — 263 с. Деп. в ВИНТИ РАН 28.04.2001, № 1122-B2001.
6. Скопенко В. А. Тентовая архитектура: “спортивные” возможности // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2010. — № 2. — С. 50–55.
7. Ким А. Ю., Ермилов Д., Смирнов А. Итерационный метод приращений в задачах расчета мембранно-пневматических сооружений // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 5-6. — С. 51–53.
8. Ким А. Ю., Харитонов С. П. Применение итерационных численных методов в задачах расчета пневматических сооружений // Символ науки. — 2016. — № 5-2(17). — С. 50–52.
9. Ким А. Ю., Харитонов С. П. Большепролетные комбинированные пневматические сооружения // Символ науки. — 2016. — № 5-2(17). — С. 54–55.
10. Ким А. Ю., Харитонов С. П. Расчет пневматических сооружений на различные виды нагрузок с применением программных комплексов // Символ науки. — 2016. — № 5-2(17). — С. 58–59.
11. Хрусталева Б. М., Акельев В. Д., Манюшинец Т. В., Костевич М. Ф. Моделирование конвективных потоков в пневмоопорных объектах. Часть 1 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. — 2014. — № 4. — С. 42–55.
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382. URL: <http://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 02.11.2016).
13. Сергель О. С. Прикладная гидрогазодинамика. — М. : Машиностроение, 1981. — 374 с.
14. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. — 2-е изд., перераб. — М.–Л. : Госэнергоиздат, 1961. — 670 с.

Материал поступил в редакцию 10 ноября 2016 г.

Для цитирования: Присадков В. И., Ушаков Д. В., Лицкевич В. В., Хатунцева С. Ю., Соболев Н. В. Оценка риска опускания оболочки воздухоопорного сооружения при пожаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 50–57. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.50-57.

English

ASSESSMENT OF RISK OF LOWERING OF THE COVER OF THE COMPRESSED-AIR SUPPORTED CONSTRUCTION AT THE FIRE

PRISADKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Main Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: z080637@yandex.ru)

USHAKOV D. V., Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: k708@yandex.ru)

LITSKEVICH V. V., Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

KHATUNTSEVA S. Yu., Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: lu2986@yandex.ru)

SOBOLEV N. V., General Director, TekhInSPAS JSC (Bolshaya Moskovskaya St., 1, Office 2, Vladimir, 600000, Russian Federation; e-mail: molot33@rambler.ru)

ABSTRACT

In article the risks of lowering of covers of compressed-air supported constructions (VOS) arising during the opening of all or a part of emergency exits from a construction are considered. Lowering of covers can lead to violation of functioning of doors.

For prevention of lowering of VOS establish on the ways of evacuation of an arch of safety that it is integrated to additional costs and restrictions.

For purity of assessment of the risk factor connected with lowering of a cover in article the fires leading to distribution of dangerous factors of the fire within VOS amount, but not to loss of an integrity of a cover are considered.

The characteristic of fire risk of lowering of a cover is critical time of t_{kr} of reduction of amount of a cover to some extreme value, for example, before reduction of amount of a cover twice of rather working hours. For receipt of engineering estimates it is offered to break process of lowering of a cover into two stages:

- the first stage — reduction of excessive pressure in a cover from working pressure up to the critical pressure during t_1 when preserving amount of a cover;
- the second stage — isobaric reduction of amount of a cover to limiting amount with a critical pressure during t_2 .

Critical time for VOS is equal to the amount of times of t_1 and t_2 .

Approximate analytical estimates of times of t_1 and t_2 depending on space-planning characteristics of VOS, number and the sizes of emergency exits from constructions, the mass of a cover, excessive working pressure in a cover are received.

The example of calculations of t_1 and t_2 for the real compressed-air supported construction used for sporting events by amount about 27 thousand m^3 is given. It is established that time of t_1 changes within seconds, and t_2 within 5–15 minutes.

With settlement way existence of risk of lowering of a cover taking into account holding mass actions in VOS in case of which evacuation time from a cover changes within 4–10 minutes is confirmed.

It is offered to use for increase in t_{kr} technological system of a subtime of air in VOS which in case of the maximum feed rates of air can compensate substantially an air consumption through open doors.

Formulas for assessment of times of t_1 and t_2 taking into account amounts of the given air in ventagregatama VOS are offered.

Taking into account not fixed opening of doors in case of evacuation, very frequent device of opening of doors against the direction of evacuation, the assumption of a soft design of covers, the received time estimates of lowering of covers should be considered as the lower estimates of critical time.

Further comparison of settlement critical times of lowering of covers with experimentally received values of times is necessary for the operated covers that will allow including, to specify effective consumption factor of μ_{otv} air through VOS doors.

Keywords: compressed-air supported construction; time of lowering of cover; expense coefficient; open doors of emergency exits; critical time of evacuation; individual fire risk.

REFERENCES

1. Merkusheva T. G. *The rationale and method of calculation of the length of the evacuation of tent structures in fire conditions*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, Moscow Institute of Civil Engineering named after V. V. Kuybyshev, 1978. 125 p. (in Russian).

2. Story-Archive. *In total about construction and repair. Safety and reliability of compressed-air supported buildings* (in Russian). Available at: <http://stroj-archive.ru/vozduhoopornye-zdaniya/355-bezopasnost-i-nadezhnost-vozduhoopornyh-zdaniy.html> (Accessed 2 November 2016).
3. Ermolov V. V. *Vozdukhoopornyye zdaniya i sooruzheniya* [Air-supported buildings and structures]. Moscow, Stroyizdat, 1980. 304 p. (in Russian).
4. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 2 November 2016).
5. Kim A. Yu. *Chislennoye issledovaniye nelineynykh membranno-pnevmaticheskikh sistem* [Numerical study of non-linear membrane pneumatic systems]. Saratov, 2001. 263 p. Deposited in VINITI RAN 28.04.2001 No. 1122-B2001 (in Russian).
6. Skopenko V. A. Awning architecture: “sports” facilities. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN / Academic Bulletin of UralNIiprojekt RAACS*, 2010, no. 2, pp. 50–55 (in Russian).
7. Kim A. Yu., Ermilov D., Smirnov A. Calculation of combined pressurized systems using iterative incremental approach. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, 2014, no. 5-6, pp. 51–53 (in Russian).
8. Kim A. Yu., Kharitonov S. P. Interazioni application of numerical methods in problems of calculation of pneumatic structures. *Simvol nauki / Science Symbol*, 2016, no. 5-2(17), pp. 50–52 (in Russian).
9. Kim A. Yu., Kharitonov S. P. Combined large-span pneumatic structures. *Simvol nauki / Science Symbol*, 2016, no. 5-2(17), pp. 54–55 (in Russian).
10. Kim A. Yu., Kharitonov S. P. The calculation of pneumatic structures for different types of loads with the use of software systems. *Simvol nauki / Science Symbol*, 2016, no. 5-2(17), pp. 58–59 (in Russian).
11. Khrustalyov B. M., Akelyev V. D., Manyushinets T. V., Kostevich M. F. Modeling of convective flows in pneumobased objects. Part 1. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG / Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 2014, no. 4, pp. 42–55 (in Russian).
12. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12169057/> (Accessed 2 November 2016).
13. Sergel O. S. *Prikladnaya gidrogazodinamika* [Applied fluid dynamics]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 374 p. (in Russian).
14. Deych M. E. *Tekhnicheskaya gazodinamika. 2-e izd.* [Technical dynamics. 2nd ed.]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat, 1961. 670 p. (in Russian).

For citation: Prisdakov V. I., Ushakov D. V., Litskevich V. V., Khatuntseva S. Yu., Sobolev N. V. Assessment of risk of lowering of the cover of the compressed-air supported construction at the fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 50–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.50-57.

А. В. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: spark002@mail.ru)

В. И. МИХАЙЛОВА, аспирант кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: gidralera@rambler.ru)

Г. К. ИВАХНЮК, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры инженерной защиты окружающей среды, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет) (Россия, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 26; e-mail: fireside@inbox.ru)

Ф. В. ДЕМЕХИН, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: demehin@yandex.ru)

УДК 614.841.343:539.097

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Представлены результаты исследований физических свойств водногелевых составов (ВГС) на основе редкосшитого полимера акриловой кислоты марки "Carbopol ETD 2020" в условиях электрофизической и температурной модификации и воздействия переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП). Методами рамановской спектроскопии и атомно-силовой микроскопии установлен факт изменения структуры модифицированных воды и гидрогелей. Получены данные об изменении плотности гидрогелей в зависимости от концентрации гелеобразующего компонента, воздействия ПЧМП и температуры. Установлено, что сравнительное время нагрева модифицированных гидрогелей возрастает с увеличением концентрации гелеобразующего компонента в условиях воздействия ПЧМП, а также при температурном воздействии для термически модифицированных гидрогелей вблизи критической точки воды 4 °С. Сделан вывод о возможности использования модифицированных ВГС для повышения эффективности установок тепловой защиты резервуаров для хранения нефтепродуктов.

Ключевые слова: гидрогели; электрофизическая модификация; температурная модификация; тепловая защита; переменный частотно-модулированный потенциал; пожары нефтепродуктов.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67

Введение

Пожары нефтепродуктов в резервуарных парках, как правило, начинаются со взрыва паровоздушной смеси, приводящего к частичному или полному разрушению крыши резервуара, и сопровождаются значительным тепловыделением. При таких пожарах возможно факельное горение паровоздушной смеси на дыхательной арматуре, в местах расположения технологических отверстий и трещин в конструктивных элементах резервуара. При ликвидации факельного горения необходимо обеспечить охлаждение и тепловую защиту технологической арматуры резервуаров [1].

Тушение пожаров в резервуарных парках осложняется также выделением большого количества теплоты от горящего резервуара, которое посредством

лучистого и конвективного теплообмена распространяется на соседние резервуары. В результате происходит разогрев стенок близлежащих резервуаров, что может привести к воспламенению или взрыву внутри емкости либо к воспламенению выходящей через дыхательные клапаны смеси паров нефтепродуктов с воздухом. Длительный разогрев стенок также может вызвать вскипание и выброс нефтепродукта [2].

Основным технологическим решением для обеспечения тепловой защиты резервуаров является применение стационарных установок охлаждения, которые состоят из горизонтальных секционных колец орошения, размещаемых в верхнем поясе стенок резервуара, сухих стояков и горизонтальных трубопроводов, соединяющих секционное кольцо ороше-

ния с сетью противопожарного водопровода, задвижек с ручным приводом для обеспечения подачи воды при пожаре на охлаждение поверхности. При тушении пожаров в резервуарных парках для тепловой защиты горящего и соседних с ним резервуаров используется пожарно-техническое оборудование (в основном лафетные и ручные стволы) [3].

В качестве охлаждающего вещества при пожарах на складах нефтепродуктов чаще всего применяют воду как наиболее доступное огнетушащее и охлаждающее вещество, с хорошими теплофизическими характеристиками. Вместе с тем низкая вязкость и невысокие адгезионные свойства воды не позволяют эффективно использовать ее для тепловой защиты металлических конструкций резервуаров.

Водогелевые составы (ВГС) имеют лучшую по сравнению с водой адгезию к древесине, металлам, полимерам и другим материалам, низкую коррозионную активность и хорошие эксплуатационные характеристики [2]. Однако их использование ведет к увеличению стоимости теплозащитных веществ в сравнении с водой. Для повышения эффективности применения ВГС на пожаре необходимо обоснование минимальных эффективных концентраций гелеобразующих компонентов для обеспечения тепловой защиты. В связи с этим представляется актуальной разработка технологий получения эффективных ВГС с улучшенными техническими и экономическими показателями.

Постановка задачи исследования

В условиях факельного горения максимальную среднеповерхностную плотность излучения факела пламени горящего резервуара Q_ϕ можно определить по формуле [4]:

$$Q_\phi = \left(335 + \frac{7112}{d_p} \right) m_{\text{выг}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где d_p — диаметр горящего резервуара;

$m_{\text{выг}}$ — массовая скорость выгорания жидкости.

Моделирование процесса нагрева резервуара с нефтепродуктом при пожаре в соседнем резервуаре описано в работе [5]. При допущении, что крыша и стенки резервуара прогреваются равномерно, основная часть тепла передается от горящего резервуара соседнему посредством излучения. Количество тепловой энергии Q_1 , затрачиваемое на прогрев металлической стенки и крыши резервуара на температуру T_k , описывается соотношением

$$dQ_1 = S_k \delta_c \rho_c c_c dT_k, \quad (2)$$

где S_k , δ_c , ρ_c , c_c — площадь, толщина, плотность и теплоемкость стального материала резервуара соответственно.

В условиях применения теплоизолирующих веществ на внешней поверхности резервуара количество тепла Q_2 , расходуемое на прогрев слоя защитного вещества на температуру $T_{\text{ВГС}}$, может быть определено соотношением

$$dQ_2 = S_{\text{ВГС}} \delta_{\text{ВГС}} \rho_{\text{ВГС}} c_{\text{ВГС}} dT_{\text{ВГС}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{ВГС}}$, $\delta_{\text{ВГС}}$, $\rho_{\text{ВГС}}$, $c_{\text{ВГС}}$ — площадь, толщина, плотность и теплоемкость теплоизолирующего вещества соответственно.

Таким образом, способом повышения эффективности защиты от нагрева парогазовой смеси и жидкости внутри резервуара в условиях внешнего теплового воздействия может стать изменение теплоемкости ВГС. Решение данной задачи возможно при модификации ВГС путем температурного и электрофизического воздействия на входящие в них воду и гелеобразующий компонент.

Известно, что для воды характерны некоторые аномалии, в частности снижение теплоемкости при повышении температуры вплоть до 40 °С и вязкости — при температуре от 0 до 25 °С.

При электрофизическом воздействии на водные системы изменение их свойств соответствует гетерогенным системам и фазовым переходам, за счет чего незначительное по своим энергетическим параметрам воздействие может привести к существенным изменениям характеристик этих систем [6].

Электрофизическое воздействие приводит к изменению кластерной структуры воды, что фиксируется различными методами исследования. В работе [7] показано, что воздействие на дистиллированную воду электромагнитного поля уменьшает ее удельное электрическое сопротивление, увеличивает рН и изменяет ИК-спектры поглощения. В работе [8] отмечается значительный рост интенсивности и сдвиг некоторых пиков рамановских спектров при воздействии магнитного поля на дистиллированную воду в диапазоне 20–1900 и 3000–3800 см⁻¹. Показано также, что при внесении или удалении источника магнитного поля наблюдается соответственно увеличение или снижение поглощения ИК-излучения в течение 40–120 мин в зависимости от мощности источника.

Одним из способов электрофизического воздействия на водные системы является применение частотно-модулированного потенциала [9]. В работе [10] отмечается увеличение окислительно-восстановительного потенциала образцов дистиллированной воды, а также рН водно-солевых растворов в условиях электрофизического воздействия. На незначительное снижение плотности и повышение поверхностного натяжения воды при воздействии переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) указано в работе [11]. Этот эффект был использован

авторами для модификации воздушно-механических пен (ВМП) на основе стандартных поверхностно-активных веществ, используемых при тушении пожаров нефтепродуктов, что позволило увеличить объем ВМП на 10–12 %, а их устойчивость — практически вдвое.

Применение огнетушащих веществ (ОТВ), модифицированных путем воздействия ПЧМП, в условиях уже разработанных схем тушения пожаров рассмотрено в работе [12]. Установлено, что модифицированные ОТВ могут применяться в стандартных схемах пожаротушения, что не требует изменения конструкции стандартного оборудования. При малых концентрациях реагентов (до 0,25 % гелеобразующего компонента) в огнетушащих составах дальность подачи ОТВ существенно не уменьшается, а время тушения пожара сокращается в 3 раза по сравнению с водой. Тепловые характеристики ВГС и модифицированных наножидкостей в сопоставлении с традиционно используемыми огнетушащими веществами были исследованы авторами работы [13]. Ими отмечено сокращение интенсивности подачи ОТВ в 2,5 раза и времени тушения на 30–40 % при использовании модифицированных ВГС по сравнению с водой. Наилучший результат был достигнут при использовании модифицированных ВГС с концентрацией гелеобразующего компонента 0,15 %.

Для оценки возможности использования модифицированных ВГС в установках тепловой защиты приведены результаты исследований молекулярной структуры, динамики нагрева в условиях конвекции для ВГС, модифицированных в условиях электрофизического и температурного воздействия.

Материалы для исследований

В качестве материалов для исследования использовались дистиллированная вода и ВГС на ее основе, а в качестве гелеобразующего компонента — редкосшитый акриловый полимер (РАП) марки “Carbopol ETD-2020”.

Карбополи представляют собой полимеры полиакриловой кислоты с поперечной связанной аллиловой сахарозой и выполняют роль гелеобразователей. Гели на основе карбополов характеризуются прозрачностью и высокой вязкостью при небольшой концентрации гелеобразующего компонента. ВГС на основе карбополов легко смешиваются с другими веществами, не расслаиваются, не высыхают, практически не изменяют своих физико-химических свойств (адгезия, pH, консистенция и др.) при изменении температуры. Модификация ВГС на основе карбополов проводится путем депонирования в суспензии различных веществ (глицерина,

этанола и др.), а также различными методами изменения свойств воды. При этом изменяются pH, реологические, теплофизические и другие характеристики ВГС [14–16].

В данном исследовании технология подготовки воды включала в себя воздействие ПЧМП с параметрами 220 В, 50 Гц в течение 30 мин при температуре 4 и 20 °С. Далее в емкость с водой добавлялись навески РАП в концентрации от 0,1 до 1,0 % масс. В течение времени гелеобразования (до 12 ч) продолжалось воздействие ПЧМП. Стабилизация ВГС проводилась путем введения в дисперсию 20 %-ного водного раствора аммиака в концентрации 0,1–1,0 % масс.

Исследование структуры модифицированных ВГС

Оценка изменения характеристических пиков для воды и ВГС в условиях электрофизического воздействия осуществлялась методом рамановской спектроскопии на установке “Ntegra Spectra” с длиной волны лазера 532 нм. Установлено, что воздействие ПЧМП приводит к сдвигу характеристических частот рамановского спектра в области валентных колебаний связей О–Н воды в интервале частот порядка 3200–3400 см⁻¹ (рис. 1).

Для исследования ВГС методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) предварительно подготовленную суспензию вместе со слюдяной подложкой помещали на нагретую до 80 °С металлическую поверхность на 10 мин, в результате чего происходило высвобождение воды с сохранением объемной структуры РАП (рис. 2).

Полученные с помощью АСМ результаты показывают изменение объемной структуры РАП в ВГС, модифицированных ПЧМП, в сравнении с конт-

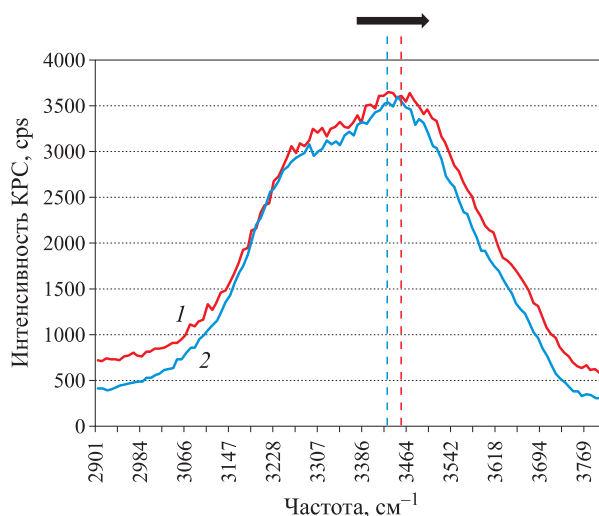


Рис. 1. Рамановский спектр воды в условиях электрофизического воздействия (1) и контрольного (немодифицированного) образца (2)

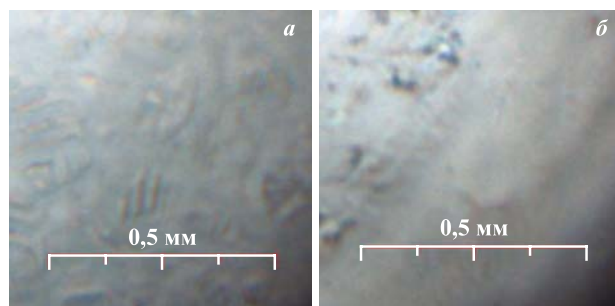


Рис. 2. Структура РАП в модифицированных ПЧМП (а) и немодифицированных (б) ВГС на слюдяной подложке

рольными образцами, что свидетельствует об изменении механизма структурообразования в условиях электрофизического воздействия (рис. 3). Данный эффект может быть объяснен дополнительной поляризацией цепочек молекул РАП, входящих в состав ВГС, при воздействии ПЧМП.

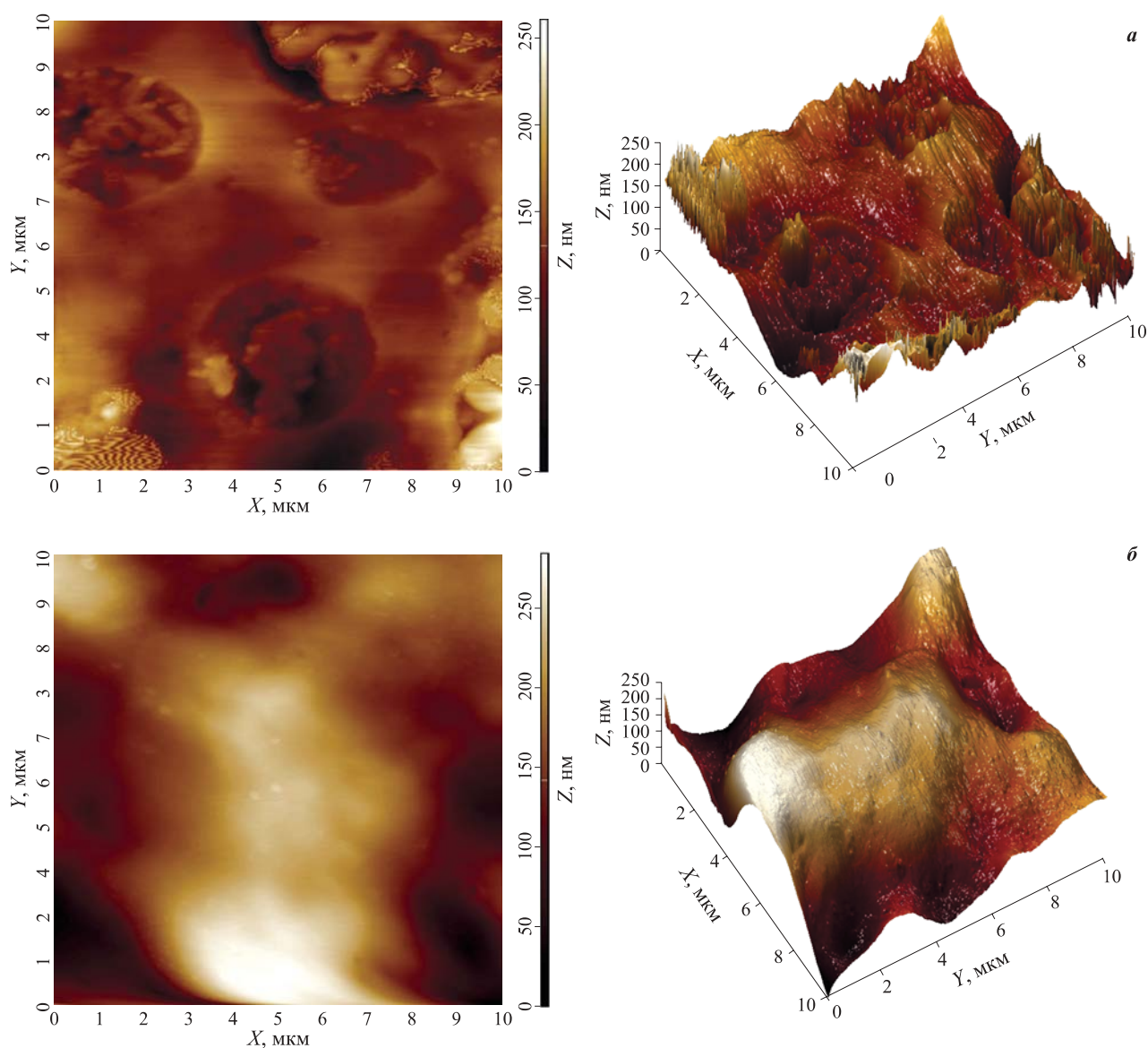


Рис. 3. Результаты АСМ модифицированных ПЧМП (а) и немодифицированных (б) ВГС на слюдяной подложке (10×10 мкм)

Плотность модифицированных ВГС

Определение плотности ВГС проводилось путем измерения массы вещества с помощью лабораторных весов марки “VIBRA LN3202CE” в фиксированном объеме жидкости. Данные о плотности ВГС в зависимости от концентрации РАП приведены на рис. 4. На графике наблюдается снижение плотности ВГС с ростом концентрации гелеобразующего компонента, а также при воздействии ПЧМП.

Гидрогели, полученные на основе воды при 4 °С, как правило, обладают более высокой плотностью по сравнению с образцами, полученными при 20 °С. Данный эффект может быть объяснен уменьшением плотности воды при увеличении температуры [17] и фиксацией структуры воды с помощью РАП. Воздействие ПЧМП также способствует незначительному (на 0,2–0,3 %) снижению плотности ВГС за

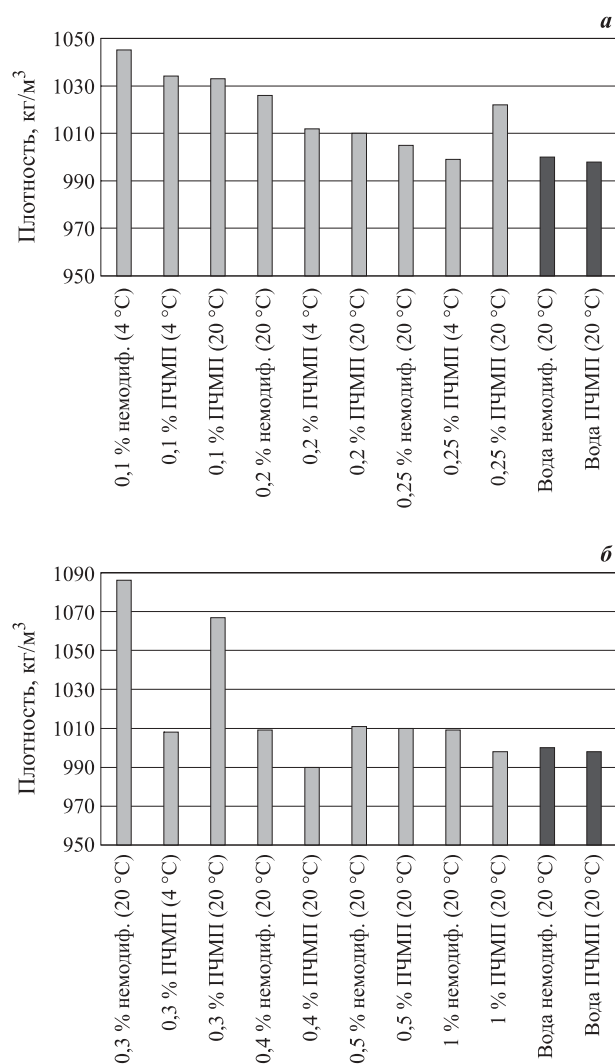


Рис. 4. Плотность воды и модифицированных ВГС при концентрации РАП от 0,10 до 0,25 % масс. (а) и от 0,3 до 1,0 % масс. (б)

счет дополнительных электростатических сил в перекрестных связанных полимерных цепях РАП [18].

Исследование механизма прогрева и кипения модифицированных ВГС в условиях теплового воздействия

Для исследования механизма прогрева и кипения ВГС и определения зависимости теплопроводности от способа модификации ВГС и концентрации РАП использовалась лабораторная установка для изучения процессов поверхностного и объемного кипения жидкостей (рис. 5). В состав установки входит емкость 1, в которую наливается жидкость 2, электрический нагреватель 3 фиксированной мощности 100 Вт, термопары 4 и 5, двухканальный регистратор температуры 6, вытяжной вентилятор для удаления пара над жидкостью 7. Объем геля в емкости составлял 100 мл. В ходе исследования фиксировались данные об изменении температуры жидко-

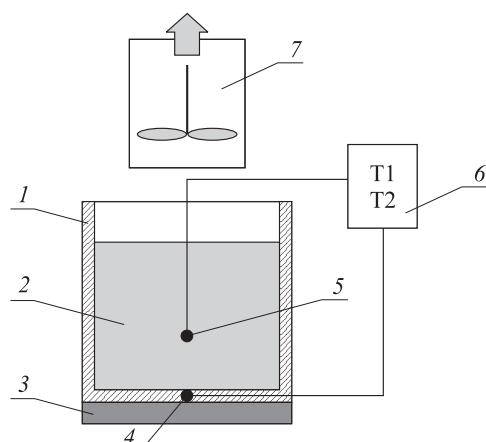


Рис. 5. Схема лабораторной установки для исследования поверхностного и объемного кипения жидкостей

сти внутри емкости на термопаре 5, расположенной на расстоянии 50 мм от дна емкости с жидкостью [19].

В таблице приведены данные по максимальной температуре модифицированных ВГС и дистиллированной воды. Из этих данных можно сделать вывод о снижении максимальной температуры нагрева ВГС для гелей в условиях электрофизической и температурной модификации.

Данные по времени нагрева модифицированных ВГС и дистиллированной воды до максимальной температуры представлены на рис. 6.

Максимальная температура при нагреве жидкостей

Состав	Концентрация РАП, %	Наличие модификации	Температура структуризации, °C	Температура нагрева, °C
ВГС	0,10	Немодиф.	4	98
		ПЧМП	4	99
		ПЧМП	20	97
	0,20	Немодиф.	20	92
		ПЧМП	4	98
		ПЧМП	20	98
	0,25	Немодиф.	20	96
		ПЧМП	4	85
		ПЧМП	20	95
	0,3	Немодиф.	20	94
		ПЧМП	4	94
		ПЧМП	20	98
Вода	0,4	Немодиф.	20	99
		ПЧМП	20	91
	0,5	Немодиф.	20	96
		ПЧМП	20	85
	1,0	Немодиф.	20	82
		ПЧМП	20	67
	—	Немодиф.	20	98
		ПЧМП	20	98

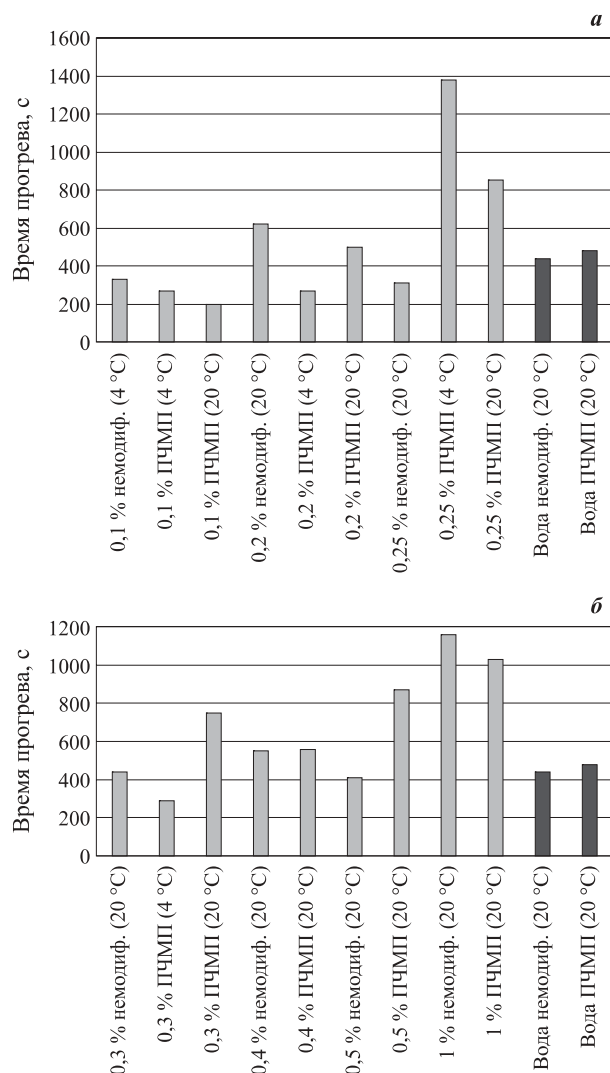


Рис. 6. Время достижения максимальной температуры ВГС при концентрации РАП от 0,10 до 0,25 % масс. (а) и от 0,3 до 1,0 % масс. (б) по сравнению с водой

Как видно из рис. 6, время нагрева модифицированных ВГС до максимальной температуры возрастает с увеличением концентрации гелеобразующего

компонента. Время нагрева ВГС при концентрации РАП от 0,1 до 0,2 % масс. меньше времени нагрева дистиллированной воды на 30–50 %. В то же время при более высоких концентрациях модифицированные ВГС нагреваются значительно медленнее, причем наилучший результат показывают гели с концентрацией РАП от 0,25 до 1,0 % масс. Для всех образцов ВГС, структурированных на основе воды при температуре 4 °C, наблюдается значительное (до 60 %) увеличение времени нагрева жидкости.

На рис. 7 представлены данные по сравнительной динамике прогрева ВГС (с концентрацией РАП 0,25 % масс.) и воды. Из полученных данных можно сделать вывод, что рост температуры ВГС, модифицированных в условиях воздействия ПЧМП, происходит медленнее, что позволяет использовать их в качестве теплоизоляционного материала для блокирования передачи энергии от источника тепла к защищаемому материалу.

Выводы

1. Температурная модификация, заключающаяся в фиксировании с помощью РАП теплофизических свойств воды при ее аномальных параметрах плотности и теплоемкости, позволяет существенно изменить процессы тепломассопереноса в условиях нагрева жидкостей. Электрофизическая модификация обеспечивает улучшение теплозащитных свойств ВГС за счет изменения свойств воды и параметров структурообразования ВГС.

2. Сочетание указанных параметров позволяет выделить некоторые из полученных ВГС в качестве перспективных для улучшения теплозащитных характеристик жидкостей, применяемых при тушении пожаров нефтепродуктов. В частности, значительно более быстрый, чем у воды, нагрев ВГС (0,1 % масс.) позволяет использовать его для увеличения скорости теплоотвода при орошении нагревающегося при пожаре резервуара с горящим нефтепродуктом. ВГС

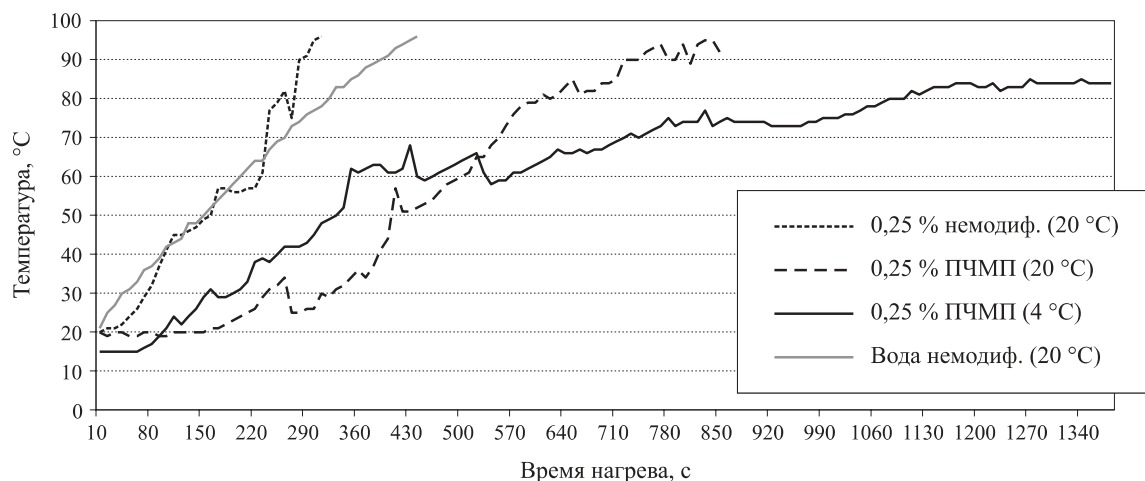


Рис. 7. Кинетика нагрева ВГС при концентрации РАП 0,25 % масс. по сравнению с водой

с более высокой концентрацией РАП (0,25 % масс.) повышает эффективность установок тепловой защиты соседних с горящим резервуаров.

3. Низкая вязкость гидрогелей с малой концентрацией РАП [13] позволяет доставлять ВГС к месту

пожара с помощью стандартного пожарно-технического оборудования пожарно-спасательных подразделений. Данное решение позволит повысить эффективность установок тепловой защиты в резервуарных парках нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. — М. : ГУГПС, ВНИИПО МВД России, 1999. — 86 с.
2. Савченко А. В., Островерх О. А., Холодный А. С. Теоретическое обоснование использования гелеобразующих систем для охлаждения стенок резервуаров и цистерн с углеводородами от теплового воздействия пожара // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. — 2015. — № 37. — С. 191–195.
3. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Калан, 2002. — 448 с.
4. Сучков В. П. Методы оценки пожарной опасности технологических процессов. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 155 с.
5. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Оценка пожарной опасности резервуара с нефтепродуктом при его нагреве от пламени соседнего горящего резервуара // Радиоэлектроника и информатика. — 2005. — № 2. — С. 110–112.
6. Классен В. И. Омагничивание водных систем. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Химия, 1982. — 296 с.
7. Бессонова А. П., Стась И. Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // Ползуновский вестник. — 2008. — № 3. — С. 305–309.
8. Pang X. F., Deng B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field // Science China Physics, Mechanics & Astronomy. — 2008. — Vol. 51, No. 11. — P. 1621–1632. DOI: 10.1007/s11433-008-0182-7.
9. Пат. 2479005 Российская Федерация. МПК G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз / Ивахнюк Г. К., Матюхин В. Н., Клачков В. А., Шевченко А. О., Князев А. С., Ивахнюк К. Г., Иванов А. В., Родионов В. А. — № 2011118347/08; заявл. 21.01.2010; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (дата обращения: 10.06.2016).
10. Иванов А. В., Ивахнюк Г. К., Пятин Д. В. Определение физико-химических свойств модифицированных водных растворов для управления процессом детоксикации почв в условиях чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в технике. — 2015. — № 1(33). — С. 29–36.
11. Алексеик Е. Б., Савенкова А. Е., Гемши З. Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2013. — № 4. — С. 44–48. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/8.pdf> (дата обращения: 28.12.2016).
12. Гаджиев Ш. Г., Иванов А. В., Ивахнюк Г. К., Кадочникова Е. Н. Исследование огнетушащих и теплозащитных свойств водногелевых составов на основе модифицированных жидкостей // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2014. — № 2. — С. 31–37. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V62/4.pdf> (дата обращения: 28.12.2016).
13. Гаджиев Ш. Г., Иванов А. В., Кондрашин А. В. Моделирование величины дальности струи модифицированных водногелевых огнетушащих веществ // Проблемы управления рисками в технике. — 2015. — № 1(33). — С. 60–67.
14. Contreras M. D., Sánchez R. Application of a factorial design to the study of specific parameters of a Carbopol ETD 2020 gel. Part I. Viscoelastic parameters // International Journal of Pharmaceutics. — 2002. — Vol. 234, No. 1-2. — P. 139–147. DOI: 10.1016/S0378-5173(01)00953-X.
15. Hernández M. J., Pellicer J., Delegido J., Dolz M. Rheological characterization of easy-to-disperse (ETD) Carbopol hydrogels // Journal of Dispersion Science and Technology. — 1998. — Vol. 19, No. 1. — P. 31–42. DOI: 10.1080/01932699808913159.

16. Tichý E., Murányi A., Pšenková J. The effects of moist heat sterilization process and the presence of electrolytes on rheological and textural properties of hydrophilic dispersions of polymers-hydrogels // *Advances in Polymer Technology*. — 2015. — Vol. 35, No. 2. — P. 198–207. DOI: 10.1002/adv.21543.
17. Горленко Н. П., Саркисов Ю. С. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем : монография. — Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. — 264 с.
18. Oppong F. K., Rubatat L., Frisken B. J., Bailey A. E., de Bruyn J. R. Microrheology and structure of a yield-stress polymer gel // *Physical Review E*. — 2006. — Vol. 73, No. 4. — P. 041405. DOI: 10.1103/PhysRevE.73.041405.
19. Теплообмен : метод. указания по лаб. работам / Финников К. А., Лобасова М. С. — Красноярск : ИПК СФУ, 2009. — 65 с. URL: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1536/u_lab.pdf (дата обращения: 28.12.2016).

Материал поступил в редакцию 13 февраля 2017 г.

Для цитирования: Иванов А. В., Михайлова В. И., Ивахнюк Г. К., Демехин Ф. В. Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 58–67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.

English

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF MODIFIED HYDROGELS FOR THERMAL PROTECTION OF PETROLEUM PRODUCTS TANKS

IVANOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: spark002@mail.ru)

MIKHAYLOVA V. I., Postgraduate Student of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: gidralera@rambler.ru)

IVAKHNYUK G. K., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Department of Engineering Protection of Environment, Saint Petersburg State Technology Institute (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation; e-mail: fireside@inbox.ru)

DEMEKHIN F. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: demehin@yandex.ru)

ABSTRACT

The fires in the park of petroleum products tanks are inextricably linked with intense heating from burning tank and creation conditions for dissemination of the fire on the nearest tanks by the radiative and convection heat transfer.

The water is the main cooling agent, using in standard equipment today, because of its accessibility and good thermal characteristics. At the same time, the waters efficiency for the thermal protection purpose of petroleum products tanks is greatly reduced, because of low adhesion and low viscosity.

This work studies the physical properties of modified hydrogel suspensions (HGS), prepared by distilled water and polymers of acrylic acid marked “Carbopol ETD 2020”. Thermal modification was to clamping the abnormal water properties, such as heat capacity and thermal conductivity, in con-

ditions of 4 °C. Electrophysical modification was the impact on researching compositions by the variable frequency modulated potential (VFMP).

Present VFMP-impact results in a characteristic Raman frequency shear into the valence vibration area of O–H bond in the frequency rang $\sim 3200...3400\text{ cm}^{-1}$, indicating that the structure was modified. The modification HGS and water structures by VFMP was confirmed by Raman spectra and atomic force microscopy.

We got a density value for HGS depending on concentration of Carbopol, while HGS density was decreased in conditions of VFMP. Also noticed, that HGS, which was prepared in conditions of 4 °C, have more value of density, than HGS which was prepared in conditions of 20 °C. This fact can be explained by the density of water decreasing with temperature increasing.

During the heating and boiling processes studying, we have found, that heating time for modified HGS, which have concentration 0.1–0.2 % mas., to a maximum temperature was lower than distill water by 30–50 %, while a higher concentration HGS was heated slowly, with the best result for 0.25–1 % concentrated HGS. A significant increase of heating time (to 60 %) was noted for all HGS, which was prepared in conditions of 4 °C.

These results suggest the possibility of significant influence on the processes of heat and mass transfer in HGS heating conditions due to changes in water properties and structure parameters, which in turn, provides improved thermal insulation properties HGS compared with the standard cooling agents that will efficiently use them in standard cooling equipment of petroleum products tanks.

Keywords: hydrogel; electrophysical modification; thermal modification; thermal protection; variable frequency modulated potential; petroleum products fires.

REFERENCES

1. *Manual extinguishing oil and petroleum products in tank farms*. Moscow, Main Directorate of State Fire Service, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1999. 86 p. (in Russian).
2. Savchenko A. V., Ostroverkh O. A., Kholodniy A. S. Theoretical basis gelling cooling systems tank walls and tanks hydrocarbons against heat fire. *Problemy pozharnoy bezopasnosti: sb. nauch. tr. / Problems of Fire Safety. Collected papers*, 2015, no. 37, pp. 191–195 (in Russian).
3. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and petroleum products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p. (in Russian).
4. Suchkov V. P. *Metody otsenki pozharnoy opasnosti tekhnologicheskikh protsessov* [Fire risk assessment methods for technological processes]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russian Publ., 2010. 155 p. (in Russian).
5. Abramov Yu. A., Basmanov A. E. Rating of a fire hazard of the tank with petroleum under a flame of the shining tank. *Radioelektronika i informatika / Radioelectronics & Informatics*, 2005, no. 2, pp. 110–112 (in Russian).
6. Klassen V. I. *Omagnichivaniye vodnykh system. 2-e izd.* [The impact of magnetic field on water systems. 2nd ed.]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 296 p. (in Russian).
7. Bessonova A. P., Stas I. E. Effect of high-frequency electromagnetic field on the physical and chemical properties of water and its spectral characteristics. *Polzunovsky Vestnik*, 2008, no. 3, pp. 305–309 (in Russian).
8. Pang X. F., Deng B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 2008, vol. 51, no. 11, pp. 1621–1632. DOI: 10.1007/s11433-008-0182-7.
9. Ivakhnjuk G. K., Matjukhin V. N., Klachkov V. A., Shevchenko A. O., Knjazev A. S., Ivakhnjuk K. G., Ivanov A. V., Rodionov V. A. *Method and apparatus for controlling physical-chemical processes in substance and on a phase boundary*. Patent RU, no. 2479005, publ. date 10.04.2013 (in Russian).
10. Ivanov A. V., Ivakhnyuk G. K., Pyatin D. V. Investigation of physical and chemical properties of modified water solutions to control the process of detoxification of soils in emergency situations on the oil and gas facilities. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2015, no. 1(33), pp. 29–36 (in Russian).

11. Aleksei E. B., Savenkova A. E., Gemish Z. The alternating electric fields on processes and stabilization of air and mechanical foam. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine*, 2013, no. 4, pp. 44–48 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/8.pdf> (Accessed 28 December 2016).
12. Hajiyeve Sh. G., Ivanov A. V., Ivakhnyuk G. K., Kadochnikova E. N. Research extinguishing and thermal insulation properties of hydrogels prepared from modified nanofluids. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine*, 2014, no. 2, pp. 31–37 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V62/4.pdf> (Accessed 28 December 2016).
13. Gadzhiev Sh. G., Ivanov A. V., Kondrashin A. V. Simulation of distance jet modified water-gel extinguishing agents. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2015, no. 1(33), pp. 60–67 (in Russian).
14. Contreras M. D., Sánchez R. Application of a factorial design to the study of specific parameters of a Carbopol ETD 2020 gel. Part I. Viscoelastic parameters. *International Journal of Pharmaceutics*, 2002, vol. 234, no. 1–2, pp. 139–147. DOI: 10.1016/S0378-5173(01)00953-X.
15. Hernandez M. J., Pellicer J., Delegido J., Dolz M. Rheological characterization of easy-to-disperse (ETD) Carbopol hydrogels. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1998, vol. 19, no. 1, pp. 31–42. DOI: 10.1080/01932699808913159.
16. Tichý E., Murányi A., Pšenková J. The effects of moist heat sterilization process and the presence of electrolytes on rheological and textural properties of hydrophilic dispersions of polymers-hydrogels. *Advances in Polymer Technology*, 2015, vol. 35, no. 2. DOI: 10.1002/adv.21543.
17. Gorlenko N. P., Sarkisov Yu. S. *Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh sistem* [Low-energy activation of dispersed systems]. Tomsk, TGSU Publ., 2011. 264 p. (in Russian).
18. Oppong F. K., Rubatat L., Frisken B. J., Bailey A. E., de Bruyn J. R. Microrheology and structure of a yield-stress polymer gel. *Physical Review E*, 2006, vol. 73, no. 4, p. 041405. DOI: 10.1103/PhysRevE.73.041405.
19. Fennikov K. A., Lobasova M. S. *Teplomassoobmen* [Heatmasstransfer]. Krasnoyarsk, IPK SFU Publ., 2009. 65 p. (in Russian). Available at: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1536/u_lab.pdf (Accessed 28 December 2016).

For citation: Ivanov A. V., Mikhaylova V. I., Ivakhnyuk G. K., Demekhin F. V. Investigation of the characteristics of modified hydrogels for thermal protection of petroleum products tanks. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 58–67 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67.

**ВОПРОС:**

Качественное выполнение системы заземления на защищаемом объекте позволяет обеспечить не только электробезопасность работающего персонала, но и пожарную безопасность электроустановок. Это наиболее актуально для пожаровзрывоопасных объектов, на которых нарушение целостности заземляющих проводников может привести к появлению источников зажигания в виде электрической дуги или искрения, не предусмотренных нормальной работой сети.

Какие требования нормативных документов определяют выбор компонентов системы заземления, порядок контроля ее безопасной работы и периодичность проверок нормального состояния?

ОТВЕТ:

К системе заземления предъявляются достаточно жесткие требования сразу по нескольким направлениям, связанным с обеспечением:

- электробезопасности и контроля допустимых значений напряжений прикосновения;
- надежного заземления нулевого защитного проводника, нейтрали электрических сетей и корпусов электрооборудования;
- уравнивания потенциалов;
- электромагнитной совместимости;
- заземления молниеотводов системы молниезащиты.

Для каждого направления разработаны отдельные документы (в том числе ведомственные), регламентирующие порядок выбора, монтажа и обслуживания заземляющих устройств.

В первую очередь стоит отметить ГОСТ Р 50571.5.54–2013 [1], в котором определены требования к заземляющим устройствам, защитным проводникам и защитным проводникам уравнивания потенциалов, применяемым для обеспечения безопасности в электроустановках.

В документе [1] подробно рассмотрены вопросы выбора материала для элементов системы заземления (алюминий не применяется), его формы и размеров, способов соединения этих элементов между собой с учетом места прокладки заземляющих проводников (обычно воздух и грунт).

С позиции обеспечения пожаровзрывобезопасности в ГОСТе [1] отмечено, что в качестве заземлителей не должны использоваться металлические трубопроводы с горючими жидкостями и газами, а их части, проложенные в земле, не должны учитываться при расчете параметров заземлителей.

Для обеспечения электробезопасности с помощью защитного заземления и зануления следует руководствоваться требованиями ГОСТ 12.1.030–81 [2]. Указанные в стандарте положения не распространяются на защитное заземление, зануление электроустановок, применяемых во взрывоопасных зонах, на электрифицированном транспорте, судах, в металлических резервуарах, под водой, под землей и для медицинской техники.

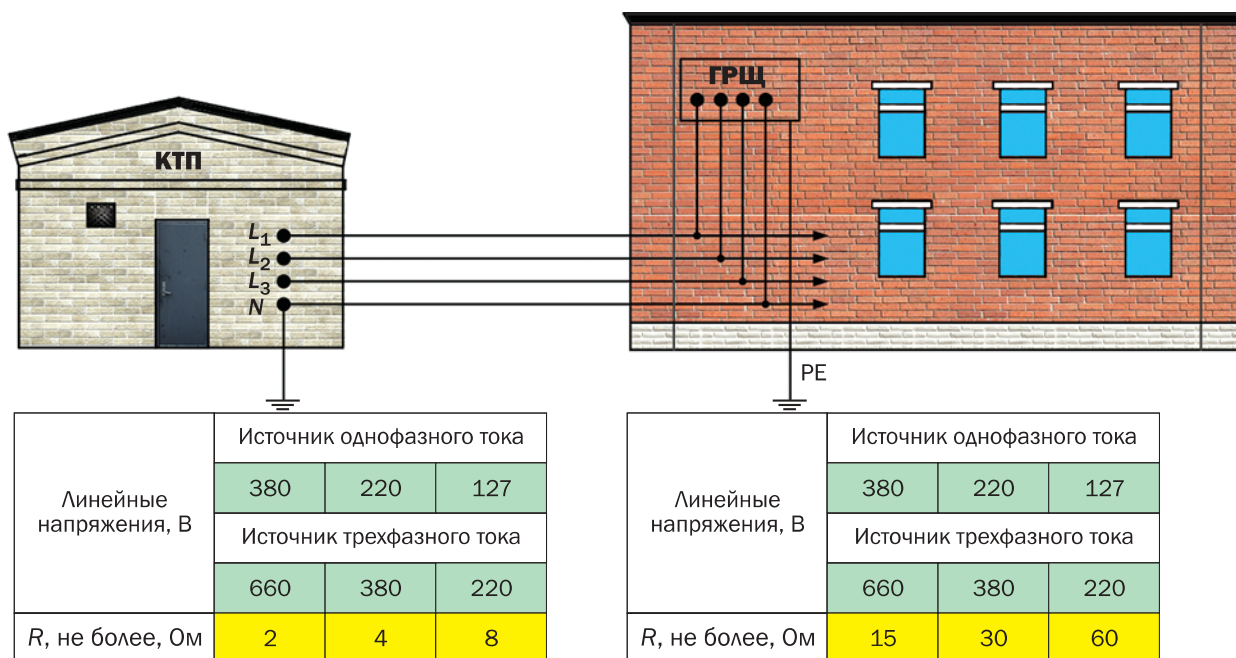
Требования ГОСТа [2] частично дублируются в гл. 1.7 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [3]. В ней отмечено, что для сетей напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью (система IT) сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 10 Ом, а в сетях напряжением выше 1 кВ должно определяться по отношению $R = 250/I$ (где I — расчетная сила тока заземления на землю, А).

Для сетей напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью (система TN) сопротивление заземляющего устройства выбирается в зависимости от подключенных к нему участков цепи. Если к заземляющему устройству присоединены нейтрали генераторов (трансформаторов) или выводы однофазного источника питания, то их сопротивление должно быть не более значений, представленных на рисунке слева. Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора либо вывода источника однофазного тока, не должно превышать значений, указанных на рисунке справа.

При выполнении условий электробезопасности учитываются предельно допустимые значения напряжения прикосновения, которые установлены ГОСТ 12.1.038–82 [4].

Требования по контролю исправного состояния заземляющих устройств и по периодичности их проверок установлены Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [5]. В них указано, что открыто проложенные заземляющие проводники должны быть защищены от коррозии и окрашены в черный цвет. Их видимые части должны периодически осматриваться для оценки состояния контактных соединений между защитным проводником и оборудованием, наличия антикоррозионного покрытия и отсутствия обрывов. Такой осмотр должен проводиться по графику, но не реже 1 раза в 6 месяцев ответственным за электрохозяйство объекта или работником, им уполномоченным. Результаты каждого осмотра должны быть отмечены в паспорте заземляющего устройства.

Такой паспорт заводится на каждое заземляющее устройство, находящееся в эксплуатации. В нем должны быть указаны:



Сопротивление R заземляющего устройства системы TN в зависимости от места его расположения и подключаемых элементов сети

- 1) исполнительная схема устройства с привязками к капитальным сооружениям;
- 2) связи с надземными и подземными коммуникациями и другими заземляющими устройствами;
- 3) дата ввода в эксплуатацию;
- 4) основные параметры заземлителей (материал, профиль, линейные размеры);
- 5) величина сопротивления растеканию тока заземляющего устройства и сопротивления металlosвязи оборудования с заземляющим устройством;
- 6) удельное сопротивление грунта;
- 7) данные по напряжению прикосновения (при необходимости), степени коррозии искусственных заземлителей;
- 8) ведомость осмотров с указанием выявленных дефектов и информацией по их устранению.

Кроме того, к паспорту должны быть приложены данные о характере ремонтов и об изменениях, внесенных в конструкцию устройства.

Не реже одного раза в 12 лет должны выполняться осмотры заземляющего устройства с выборочным вскрытием грунта в местах, наиболее подверженных коррозии, а также вблизи мест заземления нейтралей силовых трансформаторов, присоединений разрядников и ограничителей перенапряжений. Элемент осматриваемого заземлителя заменяется, если разрушено более 50 % его сечения.

Частичный осмотр не дает полной картины состояния заземляющего устройства, поэтому для подтвержде-

ния его исправного состояния в соответствии с нормами испытаний электрооборудования (см. прил. 3 [5]) должно выполняться:

- измерение сопротивления заземляющего устройства;
- измерение напряжения прикосновения (в электроустановках, заземляющее устройство которых выполнено по нормам на напряжение прикосновения);
- проверка наличия цепи между заземляющим устройством и заземляемыми элементами, а также соединений естественных заземлителей с заземляющим устройством;
- измерение токов короткого замыкания электроустановки и проверка состояния пробивных предохранителей;
- измерение удельного сопротивления грунта в районе заземляющего устройства.

Указанные измерения в обязательном порядке проводятся после каждой реконструкции и ремонта заземляющих устройств, при обнаружении разрушения или перекрытия изоляторов воздушных линий электропередач электрической дугой.

Согласно ГОСТ Р 51317.6.5–2006 [6] (прил. А) при протекании токов в силовых кабелях, линиях электропитания и цепях заземления возникают помехи в виде магнитных полей. В соответствии с требованиями по электромагнитной совместимости (ЭМС) заземляющее устройство должно быть выполнено так, чтобы уровни этих помех не превышали допустимых значений (по величине напряжений и токов) для вто-

ричного оборудования как при нормальной работе электрической сети, так и при коротких замыканиях и коммутационных процессах.

Импульсные магнитные поля возникают в электрических цепях и заземляющих проводниках при прохождении по ним токов молниевых разрядов, что также требует соблюдения требований стандарта [6] по ЭМС. При выполнении системы заземления с целью молниезащиты объекта по международному стандарту IEC 62305-3-2006 (подраздел 5.4) должны обеспечиваться допустимые уровни грозовых и коммутационных перенапряжений, воздействующих на изоляцию первичного и вторичного оборудования соответствующего класса напряжения в рамках обеспечения ЭМС по стандарту [6].

Для заземлителей системы молниезащиты в зависимости от категории здания (I, II и III) по РД 34.21.122-87 [7] установлен количественный критерий — импульсное сопротивление растеканию токов молнии. Его максимально допустимое значение принимается равным 10 Ом для зданий и сооружений I и II категорий и 20 Ом — III категории. При этом в грунтах с удельным сопротивлением более 500 Ом·м допускается увеличивать импульсное сопротивление до 40 Ом при одновременном удалении молниеотводов от объектов I категории на расстояние, гарантирующее исключение пробоя по воздуху и в земле. Максимально допустимое импульсное сопротивление заземлителей для наружных установок принимается 50 Ом. Импульсное сопротивление отличается от регламентируемого другими нормативными документами сопротивления заземлителя и зависит от нескольких параметров тока молнии (амплитуды, крутизны, длины фронта), варьирующихся в широких пределах. Определить его значение на проектной стадии невозможно, поэтому следует пользоваться конкретными конструкциями заземлителей, представленными в п. 2.2 Инструкции [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 (МЭК 60364-5-54:2011). Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов. — Введ. 01.01.2015. — М. : Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (в ред. 01.06.2001). — Введ. 01.07.1982. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
4. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (в ред. 01.06.2001). — Введ. 01.07.1983. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) : утв. приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 № 6; введ. 01.07.2003 // Российская газета. — 2003. — № 139.
6. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5:2001). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний. — Введ. 01.07.2007. — М. : Стандартинформ, 2007.
7. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.1987. — Введ. 12.10.1987. — М. : Энергоатомиздат, 1989.

*Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ** (e-mail: h_a_s@live.ru)*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов, обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность.

Не допускается направление в редакцию работ, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43).

Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана всеми авторами. Основной текст статьи должен быть лаконичным и структурированным. Следует делить текст на традиционные для научной статьи разделы:

- введение (актуальность, состояние вопроса);
- цели и задачи;
- материалы и методы (методология);
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (например, аналитической, обзорной), при условии четкого выделения разделов.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, кото-

рое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.4. Аннотация на русском языке должна состоять не менее чем из 5–7 предложений и не должна содержать обобщенные данные по выбранной в статье теме. Аннотация к научной статье представляет собой короткое описание содержания изложенного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 250–300 слов.

Требуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи. Метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общепотребительных, следует применять в исключительных случаях или да-

вать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторское резюме не рекомендуется включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов “and” (и), “of” (предлог, указывающий на принадлежность) и т. п.

2.7. Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала и предоставляться в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и др., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.п.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

2.8. Пристайные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного тре-

бования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы не должно быть более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Не следует включать в список литературы ГОСТы, ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф. И. О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т. п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

2.9. References (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- авторы (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа сверху флажок “Американская (для визы США)”);
- транслитерация и перевод названия книги (статьи) на английский язык;
- перевод названия источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.); при этом для журналов следует привести комбинацию транслитерации названия и его перевода (через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык материала в скобках.

Например: Sokolov D. N., Vogman L. P., Zuykov V. A. *Microbiological spontaneous ignition. Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian).

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства (www.fire-smi.ru).

3. К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

4. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

5. Статьи, присланные в редакцию не в полном объеме, к рассмотрению не принимаются.



Красноярск

24–26
Мая 2017



При поддержке Национального
антитеррористического комитета

0+

**XIII Всероссийский
специализированный форум-выставка**

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности

Информационная безопасность

- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование. Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты

**Деловая программа с участием представителей
федеральной власти**



сибирьh
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадьяна

Организаторы:



РЕКЛАМА

ИТОГИ выставки 2016 г.:
92 экспонента
8800 посетителей
717 специалистов отрасли из
40 территорий РФ

МВДЦ «СИБИРЬ», ул. Авиаторов, 19
тел. (391) 22-88-400, ccb@krasfair.ru
www.krasfair.ru