

1-2019

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
ГОТОВНОСТИ К РАБОТЕ
ОБОРУДОВАНИЯ АСПВБ
ПЕРВОГО УРОВНЯ
ИНФОРМИРОВАНИЯ
НА ОБЪЕКТАХ ТЭК
В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая





15—17 мая

ФОРУМ

**ПО БЕЗОПАСНОСТИ
И ОХРАНЕ ТРУДА**

вход свободный

РЕКЛАМА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВА ТРУДА, ЗАНЯТОСТИ
И МИГРАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



ГЛАВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
МЧС РОССИИ
ПО САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



УПРАВЛЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ВОЙСК НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



ЭКСПО-ВОЛГА
организатор выставок с 1986 г.

Самара, ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-45

www.expo-volga.ru



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 массо-
вых 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:

121596, Россия, г. Москва,
ул. Горбунова, д. 2, стр. 3, пом. II, комн. 12

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 6.

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, в справочно-библиографическую
службу EBSCO. 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 / Fire and Explosion Safety"
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 15.02.2019.
Выход в свет 25.02.2019.
Формат 60х84 1/8. Тираж 2000 экз.
Бумага мелованная матовая.
Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "Гран При"
(Россия, 152900, г. Рыбинск,
ул. Орджоникидзе, д. 57).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ньютаунабби, Ве-
ликобритания)

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бакиров И. К., к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический уни-
верситет, 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)

Вагнер П., д. т. н. (Академия пожарной службы Берлина, Берлин, Германия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Национальный исследовательский
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. Соло-
менко 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)

Роу Р. Л., профессор (Школа права Университета Джорджауна, Вашингтон, США)

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

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член Российской инженерной
академии (РИА), советник РААСН (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, академик
ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия)

Христов Б., д. т. н., профессор (Берлинский институт техники и экономики, Берлин,
Германия)

Челани А. (Миланский технический университет, Милан, Италия)

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

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

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

Шоус Р. (Университет штата Пенсильвания, Юниверсити-Парк, Пенсильвания,
США)

Якуш С. Е., д. ф.-м. н. (Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Рос-
сийской академии наук, Москва, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

2019 — юбилейный год для выставки Securika Moscow.
С чего все начиналось и каких результатов
удалось достичь

6

IX Международная конференция
“Полимерные материалы пониженной горючести”,
20–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь

9

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

В. А. ГОРЕВ, Д. Л. ОВСЯННИКОВ
Испарение жидкого метана
с металлической поверхности

14

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

А. В. ИВАНОВ, Д. П. ТОРОПОВ,
Л. В. МЕДВЕДЕВА, Е. С. КАЛИНИНА
Физический механизм и способ тушения
жидких углеводородов модифицированными
суспензиями воды с углеродными наноструктурами

22

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, И. В. САМАРИН, А. Ю. СТРОГОНОВ
Методика оценки готовности к работе оборудования
АСПБВ первого уровня информирования
на объектах ТЭК в особых условиях

35

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

А. Н. ДЕНИСОВ, С. Н. ШЕРЕМЕТЬЕВ
Технология устранения течи в горизонтально
расположенном резервуаре

47

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Т. Ю. ЕРЕМИНА, А. В. БОГДАНОВ,
О. В. СУШКОВА, А. ЮГ
Исследование особенностей процесса эвакуации
для объектов культурного наследия

54

М. В. МЕДЯНИК, О. С. ЗОСИМОВА
Сравнительный анализ нормативных требований
по пожарной безопасности при проектировании
лечебных учреждений в России и в Италии

67

ДИСКУССИИ

Д. Ф. КОЖЕВИН, В. Р. НОВИКОВ,
А. С. ПОЛЯКОВ, А. В. КЛЕЙМЕНОВ
Аргументированный ответ на замечания эксперта
по положениям статьи “Методика расчета пожарного
риска на производственных объектах с жидкими
моторными топливами с учетом применения
порошковых огнетушителей”

75

ВОПРОС – ОТВЕТ

А. С. ХАРЛАМЕНКОВ
Нагревостойкость изоляции электроустановок

77

Л. М. МЕШМАН
Частные вопросы при проектировании водяных АУП

80

CONTENTS

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Year 2019 is the anniversary year of Securika Moscow
Exhibition. How it all began and the result
that are reached

IX International Conference
“Polymer materials of lowered burning quality”,
20–24 May 2019, Minsk, Republic of Belarus

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

V. A. GOREV, D. L. OVSYANNIKOV
Evaporation of the liquid methane
from the metal surface

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

A. V. IVANOV, D. P. TOROPOV,
L. V. MEDVEDEVA, E. S. KALININA
Physical mechanism and method for fire liquid
hydrocarbons by modified water suspensions
of carbon nanostructures

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

N. G. TOPOLSKIY, I. V. SAMARIN, A. Yu. STROGONOV
Operating readiness evaluation method of first level
information distribution AFES equipment at facilities
of fuel and energy complex in special conditions

SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

A. N. DENISOV, S. N. SHEREMETYEY
Technology of eliminate leak in a horizontally
located tank

LIFE SAFETY

T. Yu. EREMINA, A. V. BOGDANOV,
O. V. SUSHKOVA, A. JUG
Evacuation procedure features for cultural
heritage objects

M. V. MEDYANIK, O. S. ZOSIMOVA
Relative analysis of normative requirements
for fire safety in the design of medical institutions
in Russia and in Italy

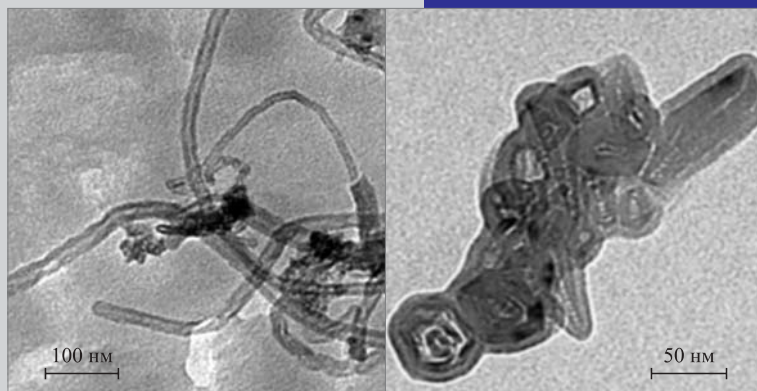
DISCUSSION

D. F. KOZHEVIN, V. R. NOVIKOV,
A. S. POLYAKOV, A. V. KLEYMENOV
Argumented answer to expert comments
on article provisions “Method for calculating
fire risk taking into account the use of fire
extinguishers on production facilities with liquid
motor fuel”

QUESTION – ANSWER

A. S. KHARLAMENKOV
Heat resistance of electrical installations

L. M. MESHMAN
Special issues on design water AFEI



Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов

Стр. 6

Стр. 22



Оценка готовности к работе оборудования АСПВБ на объектах ТЭК

Стр. 35



Устранение течи в горизонтально расположенном резервуаре

Стр. 47

Стр. 54



Особенности процесса эвакуации для объектов культурного наследия

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



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 **O. N. Korolchenko**

Editorial director **N. N. Sokolova**

Editor **L. V. Krylova**

Address of editorial staff:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, Russia.

Corresponding to: Post office box 6,
Moscow, 121352, Russia.

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

E-mail: info@fire-smi, mail@firepress;
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, EBSCO. 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 15.02.2019.
Date of publication 25.02.2019.
Format is 60x84 1/8.
Printing is 2000 copies.
Chalk-overlay mat paper.
Offset printing.

Printed at “Gran Pri”, Ltd.
(Ordzhonikidze St., 57, Rybinsk,
152900, Russian Federation)

EDITOR-IN-CHIEF:

A. Ya. Korolchenko, 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:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

N. N. Brushlinskiy, 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)

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

P. Wagner, Dr. Tech. Sci. (Berlin Fire and Rescue Academy, Berlin, Germany)

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

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

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

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

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

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

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

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

R. L. Roe, Professor (Georgetown University Law Center, Washington, United States)

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

A. G. Tamrazyan, Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of Russian Academy of
Engineering, Advisor of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

N. G. Topolskiy, 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)

V. V. Kholshchevnikov, 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)

B. Hristov, Dr. Ing., Professor (University of Applied Sciences, Berlin, Germany)

A. Celani (Polytechnic University of Milan, Milan, Italy)

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

Yu. N. Shebeko, 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)

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

R. C. Shouse, Ph. D. (Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania,
United States)

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

25-я Юбилейная международная выставка
технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



securika
Moscow



Москва

**19–22
марта
2019**

ЦВК «Экспоцентр»



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий

РЕКЛАМА



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (499) 750-08-28
security@ite-expo.ru

Забронируйте стенд
securika-moscow.ru



2019 — ЮБИЛЕЙНЫЙ ГОД ДЛЯ ВЫСТАВКИ SECURIKA MOSCOW

С чего все начиналось и каких результатов удалось достичь



выставка Securika Moscow демонстрирует новинки и достижения отечественных и зарубежных производителей и поставщиков технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты. За прошедшие десятилетия Securika Moscow стала наиболее авторитетным международным выставочным мероприятием в сфере безопасности. Традиционно на 4 дня в году выставка становится местом встречи специалистов индустрии безопасности, центром делового общения и главным праздником отрасли. Мы оглянулись назад и вспомнили, с чего все начиналось и каких результатов удалось достичь.

Начало 90-х можно назвать временем начала развития наукоемких отраслей промышленности. Это был очень тяжелый для российской экономики период. Когда после 1991 года в Россию хлынула зарубежная техника, стало понятно, что отставание в “мирном” сегменте технологий безопасности в стране колоссальное. Создать инновационную технику на отечественной элементной базе в 90-х годах прошлого века не представлялось возможным. В то же время применение зарубежных комплектующих затруднялось из-за дефицита информации о качественных изделиях и высоких таможенных пошлин, которые составляли до 30 % от стоимости радиоэлементов. Для популяризации новых разработок и преодоления барьеров в общении между

специалистами требовались значительные усилия. Именно в этот период появилась выставка MIPS (с 2017 г. Securika Moscow), воплотившаяся в площадку коммуникации для будущих технологических лидеров российского рынка безопасности.

“В середине 90-х Интернет был далеко не такой скоростной, как сейчас, да и информационная насыщенность глобальной сети была на несколько порядков меньше. Поэтому основным источником информации для специалистов по безопасности были специализированные журналы, а основным местом для встреч с производителями — выставки и региональные семинары”, — поделился воспоминаниями генеральный директор компании НВП “Болид” Игорь Александрович Бабанов.





Первая выставка состоялась в марте 1995 года во Всероссийском выставочном центре (ВДНХ) в Москве. 120 компаний-участниц впервые продемонстрировали свое оборудование, с которым ознакомились 4179 посетителей. Среди первых участников — более 25 лет успешные Аргус-Спектр, Болид, ЭВС, ААМ Системз, Модус-Н, АВС Электроникс. Для многих компаний, которые на сегодняшний день по праву можно назвать флагманами российской индустрии безопасности, выставка MIPS стала платформой для развития. Позже выставка объединит уже всех крупнейших игроков индустрии, число посетителей и экспонентов увеличится в 4 раза.

За прошедшие годы Securika Moscow прочно заняла место стабильного лидера среди выставок в сфере обеспечения безопасности. Даже в самые сложные периоды развития нашей страны выставка оставалась эталоном качества и эффективности. Авторитет среди отечественных производителей и installаторов систем безопасности, признание профессионального сообщества — закономерный итог ее работы.

На сегодняшний день более 300 российских и зарубежных компаний подтвердили свое участие в юбилейной выставке, из них более 40 дебютантов: Альфа-Инжиниринг, Алгоритм Стабильности, Carddex, Феникс-парк, Инфоматика, InSentry, ISD, Korufire, PAX ProAV Group, Safe-Logic, Симс-2, SprayLab, СТАЛТ, Синезис, Телегрин, Toshiba и др.

В выставке Securika Moscow традиционно принимают участие крупнейшие торговые дома: АРМО, Сатро-Паладин, Луис+, ТИНКО, НПА Рубеж, ЗС ГРУПП.



Павильон, посвященный системам противопожарной защиты, на сегодняшний день превышает по площади соответствующую экспозицию выставки 2018 года. Среди участников раздела Пожтехника, ОСК Групп, Плазма-Т, Огнеборец, Гефест, Эпотос, Эталон, Пожарная автоматика, Пожарная автоматика сервис, МСС, Wagner, Flamax, Minimax Russia, Эридан, ИСП, Иста.



Уровень доверия к бренду юбилейной Securika Moscow 2019 со стороны спонсоров является рекордным. В этом году выставку поддерживает шесть компаний-партнеров:

- генеральный партнер — Hikvision;
- официальный спонсор раздела “Противопожарная защита” — ИС;
- спонсор лент-бейджей для посетителей — Sigur;
- официальный спонсор — Dahua;
- официальный спонсор — Safe Logic;
- технологический партнер — InSentry.

Если Вы хотите лично оценить все преимущества участия в Securika Moscow, пожалуйста, свяжитесь с нами по тел.: +7 (499) 750-08-28 или по e-mail: security@ite-russia.ru, чтобы выбрать свободный стенд и рассчитать стоимость участия.

Подробнее о выставке читайте на сайте www.securika-moscow.ru.

ВЫСТАВКА-конференция
систем видеонаблюдения
и пожаро-охранной сигнализации

Security Ural

**23 – 25 апреля
2019**

Екатеринбург
МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»

**ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ
БИЛЕТ**
на сайте
securika-ural.ru

ВАШ ПРОМОКОД
SU19qi462



12+

РЕКЛАМА

Организатор
MVK
Международная
Выставочная
Компания

Офис в Екатеринбурге
+7 (343) 226-04-29
securityural@mvk.ru

securika-ural.ru

Российская академия наук
Национальная академия наук Республики Беларусь
Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Министерство образования Республики Беларусь
Министерство Российской Федерации по делам
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий
Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь
Университет гражданской защиты
МЧС Республики Беларусь
Институт химической физики
им. Н. Н. Семенова РАН
Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России
Всероссийский научно-исследовательский
институт противопожарной обороны МЧС России
Научно-исследовательский институт пожарной
безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
МЧС Республики Беларусь
Кокшетауский технический институт КЧС
МВД Республики Казахстан
Волгоградский государственный технический
университет
Научно-исследовательский институт
физико-химических проблем Белорусского
государственного университета
Научно-исследовательский институт проблем
горения Республики Казахстан
Молодежная палата при Парламентском Собрании
Союза Беларуси и России



IX Международная конференция



2019

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

**Место проведения
конференции:**

Университет гражданской
защиты МЧС Республики
Беларусь.
Адрес: Республика Беларусь,
220118, г. Минск, ул. Машино-
строителей, 25.

Дата проведения:

20–24 мая 2019 г.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Берлин А. А.

Академик РАН, научный
руководитель ИХФ РАН

Сопредседатель:

Полева И. И.

Начальник Университета
гражданской защиты МЧС
Республики Беларусь,
к. т. н., доцент

Сопредседатель:

Супруновский А. М.

Начальник Академии ГПС
МЧС России, к. т. н.

Заместители председателя:

Алешков М. В.

Заместитель начальника
Академии ГПС МЧС
России по научной работе,
д. т. н., профессор

Мансуров З. А.

Генеральный директор
Института проблем горе-
ния, академик МАН ВШ,
д. х. н., профессор

Камлюк А. Н.

Заместитель начальника
Университета граждан-
ской защиты МЧС Рес-
публики Беларусь по на-
учной и инновационной
деятельности, к. ф.-м. н.,
доцент

Шарипханов С. Д.

Начальник КТИ КЧС
МВД Республики Казах-
стан, д. т. н.

Организационный комитет:

Асеева Р. М.

Профессор, Академия ГПС
МЧС России, д. х. н.,
профессор

Аскадский А. А.

Профессор, ИНЭОС РАН,
д. х. н., профессор

Богданова В. В.

Профессор, НИИ ФХП
БГУ, Республика Бела-
русь, д. х. н., профессор

Варфоломеев С. Д.

Научный руководитель
ИБХФ РАН, чл.-корр. РАН
Д. т. н., доцент, ЦНИИСМ,
г. Хотьково

Гарашенко А. Н.

Начальник ВНИИПО
МЧС России, к. т. н.

Гордиенко Д. М.

Профессор УГЗ Респу-
блики Беларусь, д. ф.-м. н.

Кадыкова Ю. А.

Профессор, ЭТИ СГТУ
им. Ю. А. Гагарина,
Саратовский ГТУ, д. т. н.,
доцент

Касперович О. М.

Белорусский государст-
венный технологический
университет, к. т. н.

Ксандопуло Г. И.	Почетный директор Института проблем горения, академик РАЕН, д. х. н., профессор
Корольченко А. Я.	Профессор, МГСУ, д. т. н., профессор
Константинова Н. И.	Профессор, ВНИИПО МЧС России, д. т. н., профессор
Лешенюк Н. С.	Профессор УГЗ Респуб- лики Беларусь, д. ф.-м. н.
Новаков И. А.	Академик РАН, Президент Волгоградского ГТУ
Панова Л. Г.	Профессор, Саратовский ГТУ, д. т. н., профессор
Песецкий С. С.	Институт механики ме- таллополимерных систем им. В. А. Белого Респуб- лики Беларусь, д. т. н., профессор
Петров В. В.	Профессор, ЮФУ, д. т. н., профессор
Покровская Е. Н.	Профессор, МГСУ, д. т. н., профессор
Раимбеков К. Ж.	Заместитель начальника КТИ КЧС МВД РК, к. ф.-м. н.
Серков Б. Б.	Профессор, Академия ГПС МЧС России, д. т. н., профессор
Тужиков О. И.	Профессор, Волгоградский ГТУ, д. х. н., профессор
Шутов Ф. А.	Профессор, РХТУ им. Д. И. Менделеева, д. т. н., профессор

Ученые секретари:

Анохин Е. А.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Лукиянов А. С.	Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь

Программный комитет:

Сопредседатель:

Рева О. В.	Доцент кафедры ПГиВ УГЗ Республики Беларусь, к. х. н., доцент
------------	---

Сопредседатель:

Сивенков А. Б.	Профессор, Академия ГПС МЧС России, д. т. н., профессор
----------------	---

Члены программного комитета:

Альменбаев М. М.	Начальник кафедры КТИ КЧС Республики Казах- стан, к. т. н.
------------------	--

Кобелев А. А.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Макишев Ж. К.	КТИ КЧС Республики Казахстан, к. т. н.
Полищук Е. Ю.	Академия ГПС МЧС России, к. т. н.
Тихонов М. М.	УГЗ Республики Бела- русь, к. т. н.
Тужиков О. О.	Заведующий кафедрой, Волгоградский ГТУ, д. т. н., доцент

Секретари:

Криваль Д. В.	УГЗ Республики Беларусь
Назарович А. Н.	УГЗ Республики Беларусь

Основные направления научной конференции

- Термоокислительная деструкция и пиролиз полимеров
- Теория горения полимерных материалов
- Механизм действия и синтез новых высокоэффективных ингибиторов горения полимеров
- Разработка новых полимерных материалов и композиций пониженной горючести
- Экологическая и противопожарная безопасность материалов и конструкций
- Техника и методы оценки пожарной безопасности полимерных материалов
- Методы и средства обеспечения требуемой пожарной безопасности конструкций из полимерных материалов
- Анализ чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера
- Нормативно-техническое обеспечение пожаро-безопасного применения материалов и конструкций в строительстве

Программа конференции включает серию лекций, докладов, дискуссий и стендовых сессий, выставку, подведение итогов конкурса на лучшую работу молодых ученых.

В программу конференции будут включены пленарные, устные и стендовые доклады.

Ключевые даты

16 июля 2018 г.	Рассылка первого циркуляра
3 сентября 2018 г.	Начало регистрации участников на сайте УГЗ Республики Беларусь http://pmpg.tech
8 февраля 2019 г.	Рассылка второго циркуляра
15 апреля 2019 г.	Окончание регистрации участников на сайте http://pmpg.tech
15 апреля 2019 г.	Окончание приема тезисов докладов и копии платежного поручения
20–24 мая 2019 г.	Работа конференции

Правила оформления материалов

- Материалы представляются по электронной почте
- Текст должен быть набран в редакторе Word for Windows (версия 6.0, русская редакция) шрифтом “Times New Roman Cyr” с высотой шрифта 14, межстрочный интервал 1,5
- Поля страницы: слева — 2,5 см, справа — 1,5 см, сверху и снизу — 2 см
- Формулы набираются в MS Equation 2.0
- Рисунки и схемы в тексте должны быть сгруппированы
- Объем тезисов до 3 страниц

Порядок печати

Название статьи по центру без переноса жирным шрифтом строчными буквами; через интервал инициалы и фамилия автора строчными буквами, например: **А. А. Петров**; через интервал полное название учебного заведения (организации); далее через интервал текст; в конце статьи список литературы (не более 2–3 наименований).

За содержание докладов ответственность несут авторы. Программный комитет имеет право отклонить доклад. Все материалы публикуются в авторской редакции.

Оргвзнос за очное участие в конференции и публикацию тезисов одного доклада объемом до 3 стр. составляет 6000 российских руб., для студентов и аспирантов — 1500 российских руб. Для заочного участия с размещением материалов конференции в сборнике — 1500 российских руб. За каждую дополнительную страницу (каждую страницу 2-го, 3-го и последующих тезисов доклада, направленных от имени автора, прошедшего регистрацию) — 100 российских руб.

Банковские реквизиты

Автономная некоммерческая организация “Научно-исследовательский центр “Международный институт безопасности” (АНО НИЦ “Международный институт безопасности”).

Адрес: 117218, г. Москва, ул. Большая Черемуш-кинская, д. 20, корп. 4, пом. II, ком. 2.

ИНН 7727280843

КПП 772701001

Расчетный счет 40703810702160000006

в АО “АЛЬФА-БАНК” г. Москва

Корреспондентский счет 30101810200000000593

БИК 044525593

ОГРН 1167700050495

ОКПО 52786375

ОКТМО 45397000

ОКВЭД 74.30

ОКВЭД-2 71.20

С пометкой “За участие в работе конференции ПМПГ–2019”.



Адрес проведения конференции:

220118, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25. Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь.

Проживание участников конференции будет организовано в гостиницах г. Минска в одно- и двухместных номерах (стоимость от 2800–3500 российских руб.).

Справки по телефонам:

В Москве

+7-916-809-20-21 Анохин
Евгений Анатольевич

В Республике Беларусь

+375-44-579-75-46 Криваль
Денис Викторович
+375-29-574-23-15 Назарович
Андрей Николаевич
+375-29-131-48-52 Лукьянов
Александр Сергеевич

Предварительная программа конференции

20 мая — заезд участников, регистрация.

21 мая — официальное открытие конференции, пленарное заседание, выставка, экскурсия по университету, культурная программа.

22 мая — продолжение работы секций, стендовые доклады, экскурсия по г. Минску с посещением музея Великой Отечественной войны.

23 мая — продолжение работы секций, экскурсионная программа с посещением филиала УГЗ МЧС Республики Беларусь “Институт переподготовки и повышения квалификации”.

24 мая — подведение итогов конкурса на лучший доклад молодых ученых и специалистов, награждение дипломами и сертификатами, официальное закрытие конференции. Культурная программа с посещением замкового комплекса “Мир”. Отъезд.



Перед динамическими испытаниями



Перед статическими испытаниями



После статических испытаний. Общий вид

ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПАДЕНИЯ С ВЫСОТЫ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

При поддержке Национального
антитеррористического комитета

22–24 мая

КРАСНОЯРСК 2019 ВХОД СВОБОДНЫЙ!

АНТИ ТЕРРОР

XV ВСЕРОССИЙСКИЙ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ
ФОРУМ

**современные системы
безопасности**



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

Более **10 000** посетителей
из 55 субъектов РФ в 2018 году

Испарение жидкого метана с металлической поверхности

© В. А. Горев¹, Д. Л. Овсянников²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² ООО "Центр пожарной безопасности" (Россия, 141205, Московская область, г. Пушкино, ул. Набережная, 2а, пом. 349)

РЕЗЮМЕ

Введение. При аварийных проливах жидкого метана на грунт в результате его интенсивного кипения возникает взрывоопасная ситуация. При проливе на металлические поверхности кипение происходит в пленочном режиме, при этом скорость кипения значительно превышает скорость кипения на грунте.

Методы. Расчет скорости испарения жидкого метана выполняется в два этапа: на первом — для значений числа Фурье $Fo < 0,5$, когда поверхность можно считать термически толстым телом, на втором — для $Fo \geq 0,5$ вплоть до Fo^* , когда температура холодной поверхности достигает второй критической $T_{кр2} \approx 160,56$ К и заканчивается пленочное кипение.

Результаты. Подтверждено наблюдение, что коэффициент теплопередачи при пленочном кипении слабо зависит от температурного напора и фактически остается постоянным во время всего процесса пленочного кипения. В этом случае при толщине стального листа $\delta \leq 2,5$ мм, что соответствует $Bi \leq 0,1$, его можно считать термически тонким телом. Это обстоятельство подтверждается расчетами при $Fo \geq 0,5$. Определено время пленочного кипения и получена масса жидкости, испарившейся за это время.

Заключение. Предложенный метод расчета испарения жидкого метана с металлической поверхности применим и для других пар *криогенная жидкость – металл*. При этом следует учитывать изменение термической активности металлов ($C_p\rho\lambda$) в зависимости от их температуры.

Ключевые слова: пленочное кипение; тепловой поток; криогенная жидкость; тепловая активность; число Био; число Фурье; термически тонкое тело.

Для цитирования: Горев В. А., Овсянников Д. Л. Испарение жидкого метана с металлической поверхности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.14-21.

✉ Горев Вячеслав Александрович, e-mail: kafedrapb@yandex.ru

Evaporation of the liquid methane from the metal surface

© V. A. Gorev¹, D. L. Ovsyannikov²

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Fire Safety Centre LLC (Naberezhnaya St., 2a, room 349, Moscow Region, Pushkino, 141205, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. At the emergency passages of a liquid methane on a soil there is its intensive boiling and the explosive situation is formed. At the passage on metal surfaces boiling happens in the film mode and boiling speed considerably exceeds boiling speed on a soil.

Methods. Calculation of rate of evaporation of a liquid methane is broken into two stages: the first stage — to value of numbers $Fo < 0.5$, when the surface can be considered thermally thick body, the second stage — for $Fo \geq 0.5$ in flesh to Fo^* when temperature of a cold surface reaches value of the second critical $T_{cr2} \approx 160.56$ K and comes to an end film boiling.

Results. Observation is confirmed, that the heat transfer coefficient at film boiling poorly depends on a temperature pressure and actually remains to constants during all process of film boiling. In this case at a thickness of a steel sheet $\delta \leq 2.5$ mm, that corresponds to $Bi \leq 0.1$ of a leaf it is possible to consider thermally thin body. This circumstance is exposed calculations for $Fo \geq 0.5$. The dependence of mass of the evaporated liquid during film boiling is received and time of film boiling is defined.

Conclusions. The offered computational method of evaporation of a liquid methane from a metal surface is applicable for other couples *cryogenic liquid – metal*. At the same time it is necessary to consider change of thermal activity of metals ($C_p\rho\lambda$) with change of their temperature.

Keywords: film boiling; heat flux; cryogenic liquid; thermal activity; Biot's number; number of Fourier; thermally thin body.

For citation: V. A. Gorev, D. L. Ovsyannikov. Evaporation of the liquid methane from the metal surface. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 14–21 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.14-21.

✉ Vyacheslav Aleksandrovich Gorev, e-mail: kafedrapb@yandex.ru

Введение

В условиях, когда объемы производства сжиженного природного газа (СПГ) растут, обеспечение пожаровзрывобезопасности при его производстве, хранении и транспортировке является актуальной задачей. Формирование взрывоопасной ситуации начинается с неконтролируемого истечения СПГ с последующим испарением и смешением паров с окружающим воздухом. Скорость испарения определяется режимом теплообмена между СПГ и подстилающей поверхностью и между СПГ и окружающим воздухом. Теплообмен между СПГ и подстилающей поверхностью определяется режимом кипения, который зависит от температурного напора между средами [1–6]. Теплообмен между СПГ и окружающим воздухом определяется состоянием воздушной среды, температурой воздуха и скоростью ветра, а также размером очага испарения [7–10].

В регламентирующих документах [10, 11] интенсивность испарения СПГ $\dot{m}$ (кг/(м²·с)) при его проливе описывается соотношением

$$\dot{m} = \frac{T_0 - T_k}{r} \left(\frac{\lambda \rho C}{\pi t} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

где T_0 , T_k — начальная температура подстилающей поверхности и температура кипения СПГ, К;

r — теплота испарения СПГ, Дж/кг;

$\lambda \rho C$ — тепловая активность материала подстилающей поверхности;

λ — коэффициент теплопроводности материала подстилающей поверхности, Вт/(м·К);

ρ — плотность материала, в нашем случае металла, кг/м³;

C — удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К).

Выражение (1) получено в предположении, что подстилающая поверхность простирается в глубину на бесконечность, а характерное время изменения температуры подстилающей поверхности на границе контакта намного (по крайней мере, в 8 раз) меньше времени, когда можно использовать выражение (1) [1, 6].

Для металлических поверхностей ни одно из этих предположений не выполняется, поэтому использование выражения (1) для определения скорости испарения в этом случае недопустимо.

Вместе с тем при транспортировке и производстве СПГ его контакт с металлическими поверхностями неизбежен как при случайных проливах, так и при технологических операциях [12].

Целью настоящей работы является изучение скорости испарения СПГ с поверхности металла в режиме пленочного кипения в зависимости от толщины металлической конструкции. Теплофизические

свойства СПГ принимаются как для жидкого метана, а свойства металла — как для мягкой стали: $C = 460$ Дж/(кг·К), $\lambda = 53$ Вт/(м·К), $\rho = 7800$ кг/м³ [13].

Методы исследования

Сжиженный метан хранится при температуре кипения 111,66 К, и при попадании на металлическую поверхность с температурой, которая выше предельной температуры перегрева жидкого метана $T_{п.п} = 166$ К, реализуется пленочный режим кипения [2, 3, 14–16]. Режим пленочного кипения сменяется переходным режимом [2, 3, 14, 16] при второй критической температуре кипения $T_{кр2}$. Эту температуру можно оценить из условия [2, 17–20]:

$$\Delta T_{кр2} = T_{кр2} - T_k = C(T_{п.п} - T_k), \quad (2)$$

где $C = 0,8 \div 1,0$; в дальнейшем принимаем $C = 0,9$ и в результате получаем: $\Delta T_{кр2} = 48,9$ К, а $T_{кр2} = 160,56$ К.

Тепловой поток от подстилающей поверхности при температуре поверхности, соответствующей $T_{кр2}$, называется вторым критическим потоком $q_{кр2}$ (Вт/м²) и определяется по соотношению [16, 21–23]:

$$q_{кр2} = 0,091 r_3 \rho_V \sqrt[4]{\frac{g(\rho_L - \rho_V) \sigma}{(\rho_L + \rho_V)^2}}, \quad (3)$$

где r_3 — эффективная теплота парообразования с учетом нагревания пара от температуры кипения T_k до средней температуры пара T_V ;

ρ_V — плотность пара при температуре, средней между температурой поверхности $T_{кр2} = 160,50$ К и температурой кипения $T_k = 111,66$ К, кг/м³;

$$T_V = \frac{T_k + T_{кр2}}{2} = \frac{111,66 + 160,56}{2} = 136,11 \text{ К};$$

g — ускорение свободного падения, м/с²; $g = 9,81$ м/с²;

ρ_L — плотность жидкости при температуре кипения, кг/м³; $\rho_L = 426$ кг/м³;

σ — поверхностное натяжение жидкого метана при $T_k = 111,66$ К, Н/м; $\sigma = 14 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Подставив соответствующие значения в (3), получим:

$$q_{кр2} = 0,091 \cdot 562,83 \cdot 10^3 \cdot 1,44 \times \sqrt[4]{\frac{9,81 \cdot 14 \cdot 10^{-3} (426 - 1,44)}{(426 + 1,44)^2}} = 9858 \text{ Вт/м}^2.$$

Исходя из определения коэффициента теплоотдачи, его можно оценить при условии второго кризиса кипения:

$$\alpha_{кр2} = q_{кр2} / \Delta T_{кр2} = 9858 / 48,9 = 201,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

В литературе по пленочному кипению отмечается сравнительно постоянное значение коэффици-

ента теплоотдачи при изменении температурного напора, если он не настолько большой, что необходимо учитывать излучение от поверхности. При рассматриваемых низких температурах вопрос об излучении отпадает. Коэффициент теплоотдачи при пленочном кипении $\alpha_{пл}$ на горизонтальных поверхностях рассчитывается по выражению [2]:

$$\alpha_{пл} = 0,25 \sqrt[3]{\frac{\lambda_V^2 C_{pV} g (\rho_L - \rho_V)}{\nu_V}}, \quad (4)$$

где λ_V — коэффициент теплопроводности пара при его температуре $\bar{T}_V$;

C_{pV} — теплоемкость пара, Дж/(кг·К);

ν_V — коэффициент кинематической вязкости при $\bar{T}_V$.

Для случая второго кризиса кипения, когда $\bar{T}_V = 136,11$ К, независимое определение коэффициента теплоотдачи дает следующее значение:

$$\alpha_{пл.кр2} = 0,25 \sqrt[3]{\frac{0,015^2 \cdot 9,81 \cdot (426 - 1,44) \cdot 2,12 \cdot 10^3}{3,78 \cdot 10^{-6}}} = 201,75 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}.$$

Подобное вычисление при начальном температурном напоре $\Delta T_0 = T_0 - T_k = 293 - 111,66 = 181,34$ К, когда начальная температура поверхности $T_0 = 293$ К, а средняя температура пара $\bar{T}_V = (293 + 111,66)/2 = 202,33$ К, дает значение $\alpha_{0пл} = 199,5$ Вт/(м²·К). В дальнейшем принимаем $\alpha_{пл} = 200$ Вт/(м²·К) для всего диапазона изменения температурного напора при пленочном кипении.

Металлы обладают высокой термической активностью, поэтому температура охлаждаемой поверх-

ности меняется медленно по сравнению с временем изменения температуры поверхности грунта:

$$t_3 = \frac{\lambda \rho C}{\alpha_{пл}^2} = \frac{0,9 \cdot 1200 \cdot 830}{200^2} = 22,4 \text{ с.}$$

Для ранее выбранных параметров мягкой стали λ , ρ и C характерное время изменения температуры охлаждаемой поверхности составляет [6]:

$$t_3 = (53 \cdot 7800 \cdot 460)/200^2 = 4754,1 \text{ с.}$$

Охлаждение поверхности металла происходит медленнее по сравнению с грунтом в 212 раз, поэтому и температурный напор при кипении на металлической поверхности будет уменьшаться медленнее, а кипение, наоборот, будет интенсивнее.

Из анализа теплообмена на плоских поверхностях [1, 6] установлено, что выражение (1) дает приемлемые результаты при $t \geq t_3$. Это значит, что при проливе на глину выражение (1) будет справедливо уже через 3 мин, а для металлических поверхностей — через 10,5 ч.

Выражение (1) неприемлемо для металлических поверхностей конечной толщины, поскольку другое условие применимости выражения (1) $Fo < 0,5$ быстро нарушается.

Далее рассматривается теплообмен при пленочном кипении жидкого метана на металлических поверхностях толщиной $\delta = 0,100; 0,050; 0,025; 0,010; 0,003$ м.

Тыльная сторона поверхности теплоизолирована. В табл. 1 сведены основные параметры, которые необходимы для расчета теплового режима при кипении жидкого метана на поверхности малоуглеродистой стали.

Таблица 1. Исходные данные для расчета температуры поверхности металла

Table 1. Input data for calculation of surface temperature of metal

Параметр Parameter	Значение параметра при δ , м / Value of the parameter at δ , m				
	0,100	0,050	0,025	0,010	0,003
Bi	0,3774	0,1887	0,0943	0,03774	0,01132
μ^2	0,33	0,1768	0,09134	0,03726	0,001128
$t_{0,5}$, с / $t_{0,5}$, sec	338,5	84,62	21,16	3,385	0,3
$t_{0,5}/t_3$	0,0718	0,0178	0,00445	0,000718	$6,31 \cdot 10^{-5}$
$\sqrt{t_{0,5}/t_3}$	0,2668	0,1334	0,0667	0,00667	$7,94 \cdot 10^{-3}$
t_2 , с / t_2 , sec	1794	897	448,5	179,4	53,82

Примечание. Bi — число Био, $Bi = \alpha_{пл} \delta / \lambda$; $\mu^2 = Bi (1 - Bi/3)$ при $Bi < 1,2$ [6]; $t_{0,5}$ — время, при котором $Fo = \frac{\lambda}{C_p \rho} \frac{t}{\delta^2} = 0,5$, т. е. плоскую конструкцию при $Fo < 0,5$ можно считать термически толстым телом [5, 6]; $t_{0,5} = 0,5 (\delta^2 C_p \rho / \lambda)$; t_2 — характерное время охлаждения конструкции, т. е. характерное время изменения ее средней температуры; $t_2 = C_p \rho \delta / \alpha$.

Note. Bi — number Bio, $Bi = \alpha_{melt} \delta / \lambda$; $\mu^2 = Bi (1 - Bi/3)$ at $Bi < 1,2$ [6]; $t_{0,5}$ — time, at which $Fo = \frac{\lambda}{C_p \rho} \frac{t}{\delta^2} = 0,5$, that is flat design at $Fo < 0,5$ it is possible to consider thermally thick body [5, 6]; $t_{0,5} = 0,5 (\delta^2 C_p \rho / \lambda)$; t_2 — characteristic cooling-off period of a design, that is characteristic time of change of its average temperature; $t_2 = C_p \rho \delta / \alpha$.

Из результатов [6] следует, что температура охлаждаемой поверхности $T_{\text{п}}$ определяется по выражениям:

- при $t < t_{0,5}$ и одновременно при $t/t_3 < 0,5$:

$$\frac{T'_{\text{п}} - T_{\text{к}}}{T_0 - T_{\text{к}}} = 1 - \frac{\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t}{t_3}}}{1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{t}{t_3}}}; \quad (5)$$

- при $t \geq t_{0,5}$, т. е. при $Fo \geq 0,5$:

$$\frac{T''_{\text{п}} - T_{\text{к}}}{T_0 - T_{\text{к}}} = \left(\frac{1 - \frac{2}{3} Bi + \frac{16}{45} Bi^2}{1 - \frac{1}{3} Bi + \frac{8}{45} Bi^2} \right) e^{-\mu^2 Fo}, \quad (6)$$

где $T'_{\text{п}}$ — температура охлаждаемой поверхности к моменту $Fo = 0,5$;

$T''_{\text{п}}$ — температура охлаждаемой поверхности при $Fo \geq 0,5$.

В дальнейшем примем обозначение:

$$\frac{1 - \frac{2}{3} Bi + \frac{16}{45} Bi^2}{1 - \frac{1}{3} Bi + \frac{8}{45} Bi^2} = f(Bi).$$

Температура на тыльной стороне поверхности $T_{\text{т}}$ (К) определится из формулы

$$\frac{T_{\text{т}} - T_{\text{к}}}{T_0 - T_{\text{к}}} = \left(\frac{1 - \frac{1}{6} Bi + \frac{23}{360} Bi^2}{1 - \frac{1}{3} Bi + \frac{8}{45} Bi^2} \right) e^{-\mu^2 Fo}. \quad (7)$$

Тепловой поток от металлической поверхности к кипящей жидкости $q_{\text{пл}}$ (Вт/м²) определяется выражением

$$q_{\text{пл}} = \alpha_{\text{пл}} (T_{\text{п}} - T_{\text{к}}).$$

При $Fo < 0,5$ это выражение принимает вид:

$$q'_{\text{пл}} = \alpha_{\text{пл}} (T_0 - T_{\text{к}}) \left[1 - \frac{\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t}{t_3}}}{1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{t}{t_3}}} \right]. \quad (8)$$

Общее количество тепла q'_{Σ} (МДж/м²), перешедшее от металлической поверхности к кипящей жидкости за период времени $0 - t_{0,5}$, определяется выражением

$$q'_{\Sigma} = \alpha_{\text{пл}} (T_0 - T_{\text{к}}) \int_0^{t_{0,5}} \left[1 - \frac{\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t}{t_3}}}{1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{t}{t_3}}} \right] dt. \quad (9)$$

После интегрирования получаем:

$$q'_{\Sigma} = \Delta H_{\Sigma} \left[\frac{\pi - 4}{2\pi} Bi + \frac{16}{\pi \sqrt{2\pi}} - \frac{32}{Bi \pi^2} \ln \left(1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}} Bi \right) \right], \quad (9')$$

где ΔH_{Σ} — избыточная тепловая энтальпия металлической подстилающей поверхности; $\Delta H_{\Sigma} = C_p \rho \delta (T_0 - T_{\text{к}})$.

Выражение в квадратных скобках в (9) есть доля от общей избыточной энтальпии, которая расходуется на кипение за период времени от $t = 0$ до $t = \frac{1}{2} \frac{\delta^2 C_p \rho}{\lambda} (Fo = 0,5)$. Для интервала времени, ко-

торый соответствует условию $Fo \geq 0,5$, но меньше времени окончания пленочного режима кипения, удельный тепловой поток $q''_{\text{пл}}$ (МДж/м²) будет определяться выражением

$$q''_{\text{пл}} = \alpha_{\text{пл}} (T_0 - T_{\text{к}}) \times \left(\frac{1 - \frac{2}{3} Bi + \frac{16}{45} Bi^2}{1 - \frac{1}{3} Bi + \frac{8}{45} Bi^2} \right) e^{-Fo \left[Bi \left(1 - \frac{1}{3} Bi \right) \right]}. \quad (10)$$

Общее количество энергии (тепла) q''_{Σ} (МДж/м²), поступившее от поверхности к кипящей жидкости за интервал времени между $Fo = 0,5$ и числом Fo^* , соответствующим окончанию пленочного кипения, вычисляется по выражению

$$q''_{\Sigma} = \frac{\Delta H_{\Sigma} f(Bi)}{1 - \frac{1}{3} Bi} \left(e^{-\frac{\mu^2}{2}} - e^{-\mu^2 Fo^*} \right). \quad (11)$$

Число Фурье Fo^* , соответствующее окончанию пленочного кипения, определяется из (6) при $T''_{\text{п}} = T_{\text{кр}2}$:

$$Fo^* = - \frac{\ln f(Bi) \frac{\Delta T_{\text{кр}2}}{T_0 - T_{\text{к}}}}{\mu^2}. \quad (12)$$

Металлические конструкции часто удовлетворяют условиям термически тонкого тела, когда $Bi < 0,1$. В рассматриваемых примерах образцы с $\delta = 0,025$; $0,010$; $0,003$ м как раз и можно рассматривать в качестве таких. Для термически тонких тел температура T по толщине одинакова и определяется выражением [5, 6]:

$$\frac{T - T_{\text{к}}}{T_0 - T_{\text{к}}} = e^{-\bar{t}}, \quad (13)$$

где $\bar{t}$ — безразмерное время; $\bar{t} = \frac{t}{t_2}$ (см. табл. 1).

Таблица 2. Температура поверхности металла и тепловые потоки из него в моменты времени $t_{0,5}$ и t^* , соответствующие Fo^*
Table 2. Surface temperature of metal and heat fluxes from it in instants of $t_{0,5}$ and t^* the corresponding Fo^*

Параметр Parameter	Значение параметра при δ , м / Value of the parameter at δ , m				
	0,100	0,050	0,025	0,010	0,003
ΔH_{Σ} , МДж/м ² / ΔH_{Σ} , MJ/m ²	65,065	32,53	16,266	6,5065	1,952
Fo^*	3,615	7,06	14,014	34,4	115,9
T'_n , К	248,64	268,52	280,1	289,99	292
T''_n , К	248,24	266,89	279,61	287,49	292
T , К	261,82	276,7	284,64	289,61	292
T_r , К	273,4	281,6	287,6	290,12	292
$T_{кр2}$, К ¹⁾	160,56 / 158,01	160,56 / 159,52	160,56 / 160,00	160,56 / 161,16	160,49
$T_{т2}$, К	169,91	164,94	162,86	161,49	110,49
q'_{Σ} , МДж/м ² / q'_{Σ} , MJ/m ²	10,2	2,78	0,73	0,12	0,011
q''_{Σ} , МДж/м ² / q''_{Σ} , MJ/m ²	36,04	20,4	11,375	4,64	1,4
$q_{0,5}$, Вт/м ² / $q_{0,5}$, W/m ²	27316	31200	33686	35153	36070
$q_{\lambda}/\delta^{0,5}$, Вт/м ² / $q_{\lambda}/\delta^{0,5}$, W/m ²	13338,5	15593	16938	14273	—
$q_{пл}$, Вт/м ² / $q_{пл}$, W/m ²	9858	9858	9858	9858	9766
$q_{\lambda}/\delta_{пл}$, Вт/м ² / $q_{\lambda}/\delta_{пл}$, W/m ²	4955,5	4645,6	4876	4905	—

¹⁾ Над чертой приведены значения, определенные по (2), под чертой — по (13), т.е. для термически тонкого тела.
¹⁾ Over line the values, defined on (2), below the line — on (13), that is for thermally thin body are given.

Обсуждение результатов исследований

В табл. 2 сведены результаты вычислений основных величин, характеризующих теплообмен при кипении криогенных жидкостей на металлической поверхности. Примеры приведены для пары *жидкий метан – низкоуглеродистая сталь*.

В табл. 1 приняты следующие обозначения: $\Delta H_{\Sigma} = C_p r \delta (T_0 - T_k)$ — избыточная энтальпия плоской пластины; Fo^* — число Фурье, при котором заканчивается пленочное кипение (см. (12)); T'_n — температура охлаждаемой поверхности к моменту $Fo = 0,5$ (см. (5)); T''_n — температура охлаждаемой поверхности при $Fo \geq 0,5$, определяется по (6); T_r — температура неохлаждаемой поверхности при $Fo = 0,5$ (см. (7)); T — температура пластины в предположении, что она является термически тонким телом (13); $T_{кр2}$ — температура охлаждаемой поверхности, соответствующая моменту окончания пленочного кипения при Fo^* (см. (2)); $T_{т2}$ — температура на тыльной стороне пластины при Fo^* , соответствующем окончанию пленочного кипения (см. (7)); $q_{0,5}$ — тепловой поток из пластины, Вт/м², в момент $t = t_{0,5}$ при $Fo = 0,5$; $q'_{пл}$ — тепловой поток от подстилающей поверхности к кипящей жидкости; $q'_{пл} = q_{кр2}$ (см. (3) и (8)); q'_{Σ} — общее количество энергии, перешедшей из пластины в зону кипения за период времени от $t = 0$ до $t_{0,5}$, соответствующего условию $Fo = \lambda t / (C_p r \delta^2) = 0,5$ (см. (9')); q''_{Σ} — общее количе-

ство энергии, перешедшей из пластины в зону кипения за время изменения числа Фурье от $Fo = 0,5$ до Fo^* (см. (11)); $q_{\lambda}/\delta^{0,5}$, $q_{\lambda}/\delta_{пл}$ — осредненные тепловые потоки, $q_{\lambda}/\delta^{0,5} = \lambda/\delta (T'_n - T_k)$; $q_{\lambda}/\delta_{пл} = \lambda/\delta (T_{кр2} - T_k)$. Сравнение их с тепловыми потоками из пластины соответственно $q_{0,5}$ и $q'_{кр2}$ показывает, что их величина $q_{\lambda}/\delta^{0,5}$, $q_{\lambda}/\delta_{пл}$ составляет примерно половину полного потока для пластины толщиной 0,025; 0,050 и 0,100 м как при $Fo = 0,5$, так и при Fo^* . Для пластины толщиной $\delta = 0,01$ м $q_{\lambda}/\delta^{0,5} < 0,4 q_{0,5}$, а при Fo^* $q_{\lambda}/\delta_{пл} \approx 0,5 q'_{пл}$. Совпадение значений температуры охлаждаемой поверхности, вычисленных для времени $Fo = 0,5$ по соотношениям (5) и (6), справедливым для случаев соответственно $Fo < 0,5$ и $Fo \geq 0,5$, указывает на справедливость допущений, сделанных относительно изменения правила вычисления этой температуры при $Fo = 0,5$.

Выражение для полного количества энергии, перешедшей из пластины в зону кипения к моменту времени $t < t_{0,5}$, записывается в виде:

$$q_{\Sigma t < 0,5} = \frac{H_{\Sigma \delta}}{Bi} \left[\frac{\pi - 4}{\pi} \frac{t}{t_3} + \frac{16}{\pi^{1,5}} \sqrt{\frac{t}{t_3}} - \frac{32}{\pi^2} \ln \left(1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{t}{t_3}} \right) \right]. \quad (14)$$

В момент $t = t_{0,5}$ выражение (14) совпадает с формулой (9).

Таблица 3. Масса метана испарившегося за время t , кг/м²**Table 3.** The mass of the methane which evaporated during t , kg/m²

$\delta, \text{ м}$ $\delta, \text{ m}$	Масса метана, кг, испарившегося с 1 м ² поверхности к моменту t , с The mass of the methane, kg, which evaporated from 1 м ² during t , sec									
	0,3	3,385	21,18	69,54	84,65	232,9	338,5	593,1	1194,8	2447,3
0,100	0,0196	0,73	3,168	—	4,96	—	18,16 ⁰	—	—	82,3*
0,050	0,0196	0,73	3,168	—	4,96 ⁰	—	—	—	41,26*	—
0,025	0,0196	0,73	3,168 ⁰	—	—	—	—	23,4*	—	—
0,010	0,0196	0,73 ⁰	—	—	—	9,8*	—	—	—	—
0,003	0,0196 ⁰	—	—	2,51	—	—	—	-118,8	—	—
∞ мет / ∞ metal	2,67	8,98	22,46	40,7	—	74,4	—	11,93	173,66	248,54
∞ бетон / ∞ concrete	0,27	0,9	2,25	4,1	—	7,48	—	—	17,8	25,47

Пр и м е ч а н и я . 1. Знаком “0” отмечено значение массы в момент времени, соответствующий $Fo = 0,5$, знаком “*” — времени окончания пленочного кипения. 2. ∞ мет — “очень большая” толщина металла; ∞ бетон — “очень большая” толщина бетона.

Notes . 1. The “0” badge noted value of weight in the instant corresponding to $Fo = 0.5$, the “*” badge — time of the end of film boiling. 2. ∞ metal — “very big” thickness of metal; ∞ concrete — “very big” thickness of concrete.

При определении количества тепловой энергии, перешедшей из металла в зону кипения в любой момент времени в интервале $t_{0,5} < t < t^*$, необходимо вместо Fo^* , соответствующего времени t^* и концу пленочного кипения, подставить текущее значение $Fo = \lambda t / (C_p \rho \delta^2)$.

Масса метана, испарившегося к моменту времени t , определяется количеством тепла, перешедшего к этому моменту в зону кипения, и количеством тепла, которое уходит на испарение 1 кг метана. Последний параметр зависит от эффективной теплоты испарения $r_{эф}$ (кДж/кг) и учитывает то обстоятельство, что пар покидает зону кипения с температурой выше температуры насыщения. Поскольку температура поверхности меняется от $T_0 = 293$ К до $T_{кр2} = 160,56$ К, температура пара изменяется. Если ориентироваться на температуру поверхности $T_{п} = 160,56$ К и принять, что температура пара равна средней $(T_{п} + T_{к})/2$, а перегрев — $(T_{п} - T_{к})/2$, то

$$r_{эф} = r + \frac{T_{п} - T_{к}}{2} C_{pV} =$$

$$= 510 + \frac{160,56 - 111,66}{2} \cdot 2,12 = 561,8 \text{ кДж/кг},$$

где $r = 510$ кДж/кг; $C_{pV} = 2,12$ кДж/кг [4, 13].

В табл. 3 представлены значения массы метана, испарившегося к моменту времени t , в зависимости от толщины металлической подстилающей поверх-

ности и от теплофизических характеристик подстилающей поверхности.

Из табл. 3 можно заключить, что за время пленочного кипения расходуется ≈ 75 % теплового ресурса конструкции на испарение метана. В дальнейшем при смене режима кипения тепловой поток будет значительно возрастать, несмотря на снижение теплового напора. Оставшиеся 25 % испарятся значительно быстрее. Этот вопрос будет рассмотрен в будущем.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что соотношения, предлагаемые для определения скорости испарения криогенных жидкостей [10, 11], неприменимы для расчета скорости испарения с поверхности металла. Приведенный в работе подход можно использовать для вычисления как скорости испарения других криогенных жидкостей (таких как водород, этан и др.), так и скорости захлаживания металлических емкостей, например, азотом перед их заполнением горючими жидкостями или более дорогими газами (H_2 , H_L). Необходимо иметь в виду, что при более глубоком охлаждении и при рассмотрении других металлических поверхностей может возникнуть необходимость учитывать изменение их теплофизических характеристик с понижением температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности : учеб. пособие. — М. : Высшая школа, 1967. — 599 с.
2. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. — 2-е изд. — М. : Энергия, 1977. — 344 с.
3. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 367 с.

4. Кутателадзе С. С., Боришанский В. Н. Справочник по теплопередаче. — М.—Л. : Госэнергоиздат, 1958. — 414 с.
5. Rockett J. A., Milke J. A. Conduction of heat of solids // SFPE handbook of fire protection engineering. — 3rd ed. — Quincy, Massachusetts : National Fire Protection Association, 2002. — P. 1–27.
6. Горев В. А., Фомина М. В. Упрощенный расчет теплообмена на плоских поверхностях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.5-14.
7. Тепло- и массообмен в процессах испарения : сб. статей Акад. наук СССР / Отв. ред. А. В. Лыков. — М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1958. — 255 с.
8. Wong H., Rumschitzki D., Maldarelli C. On the surfactant mass balance at a deforming fluid interface // Physics of Fluids. — 1996. — Vol. 8, No. 11. — P. 3203–3204. DOI: 10.1063/1.869098.
9. Герасимов Д. Н., Юрин Е. И. Плотности потоков массы и энергии на поверхности испаряющейся жидкости // Теплофизика высоких температур. — 2018. — Vol. 56, No. 3. — P. 372–380. DOI: 10.7868/S0040364418030079.
10. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404 (с изм. на 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 20.12.2018).
11. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм. № 1). — Введ. 01.05.2009. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009. — 28 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 20.12.2018).
12. Ingason H., Li Y. Z. Spilled liquid fires in tunnels // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 399–406. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.065.
13. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Наука, 1972. — 720 с.
14. Солодов А. П. Электронный курс. Гл. 18. Теплообмен при кипении. URL: <http://docplayer.ru/45457268-18-teploobmen-pri-kipenii.html> (дата обращения: 10.12.2018).
15. Мартынов Г. А. Флуктуационная теория жидкостей // Теплофизика высоких температур. — 2018. — Т. 56, № 3. — С. 353–364. DOI: 10.7868/S0040364418030055.
16. Аметистов Е. В., Клименко В. В., Павлов Ю. М. Кипение криогенных жидкостей. — М. : Энергоатомиздат, 1995. — 400 с.
17. Байдаков В. Г. Достижимый перегрев ожиженных газов и их растворов // Физика низких температур. — 2013. — Т. 39, № 8. — С. 835–862.
18. Plachta D. W., Johnson W. L., Feller J. R. Zero boil-off system testing // Cryogenics. — 2016. — Vol. 74. — P. 88–94. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.009.
19. Bellur K., Médiçi E. F., Kulshreshtha M., Konduru V., Tyrewala D., Tamilarasan A., McQuillen J., Leão J. B., Hussey D. S., Jacobson D. L., Scherschligt J., Hermanson J. C., Choi C. K., Allen J. S. A new experiment for investigating evaporation and condensation of cryogenic propellants // Cryogenics. — 2016. — Vol. 74. — P. 131–137. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.016.
20. Notardonato W. U., Swanger A. M., Fesmire J. E., Jumper K. M., Johnson W. L., Tomsik T. M. Final test results for the ground operations demonstration unit for liquid hydrogen // Cryogenics. — 2017. — Vol. 88. — P. 147–155. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2017.10.008.
21. Holman J. P. Heat transfer. — 10th ed. — New York : McGraw-Hill, 2009. — 758 p.
22. Vandebroek L., Berghmans J. Safety aspects of the use of LNG for marine propulsion // Procedia Engineering. — 2012. — Vol. 45. — P. 21–26. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.114.
23. Ajaev V. S. Interfacial fluid mechanics: A mathematical modeling approach. — Boston, MA : Springer, 2012. — 217 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-1341-7.

REFERENCES

1. A. V. Lykov. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 599 p. (in Russian).
2. M. A. Mikheev, I. M. Mikheeva. *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer bases]. 2nd ed. Moscow, Energiya Publ., 1977. 343 p. (in Russian).
3. S. S. Kutateladze. *Teploperedacha i gidrodinamicheskoye soprotivleniye* [Heat transfer and hydrodynamic drag force]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 367 p. (in Russian).
4. S. S. Kutateladze, V. N. Borishanskiy. *Spravochnik po teploperedache* [Handbook of heat transfer]. Moscow–Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1958. 414 p. (in Russian).
5. J. A. Rockett, J. A. Milke. Conduction of heat of solids. In: *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3rd ed. Quincy, Massachusetts, National Fire Protection Association, 2002, pp. 1–27.

6. V. A. Gorev, M. V. Fomina. Simplified calculation of heat on a flat surface. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.5-14.
7. A. V. Lykov (editor-in-chief). *Teplo- i massoobmen v protsessakh ispareniya. Sbornik statey Akademii nauk SSSR* [Warm and mass transfer in evaporation processes. Collected articles of Russian Academy of Sciences]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1958. 255 p. (in Russian).
8. H. Wong, D. Rumschitzki, C. Maldarelli. On the surfactant mass balance at a deforming fluid interface // *Physics of Fluids*. — 1996. — Vol. 8, No. 11. — P. 3203–3204. DOI: 10.1063/1.869098.
9. D. N. Gerasimov, E. I. Yurin. Mass and energy flux rates on the surface of an evaporating liquid. *High Temperature*, 2018, vol. 56, no. 3, pp. 358–365. DOI: 10.1134/S0018151X18030082.
10. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Approved of order of Emercom of Russia on July 10, 2009 No. 404 (ed. on December 14, 2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed December 20, 2018).
11. Set of rules 12.13130.2009. *Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard* (with changes no. 1). Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 28 p. (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (Accessed December 20, 2018).
12. H. Ingason, Y. Z. Li. Spilled liquid fires in tunnels. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 399–406. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.065.
13. N. B. Vargaftik. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference book on thermal properties of gases and liquids]. 2nd ed. Moscow, Nauka Publ., 1972. 720 p. (in Russian).
14. A. P. Solodov. *Elektronnyy kurs. Glava 18. Teploobmen pri kipeanii* [Electronic course. Chapter 18. Heat exchange when boiling] (in Russian). Available at: <http://docplayer.ru/45457268-18-teploobmen-pri-kipeanii.html> (Accessed December 10, 2018).
15. G. A. Martynov. Fluctuation theory of liquids. *High Temperature*, 2018, vol. 56, no. 3, pp. 340–350. DOI: 10.1134/S0018151X18030148.
16. E. V. Ametistov, V. V. Klimenko, Yu. M. Pavlov. *Kipeniye kriogennykh zhidkostey* [Boiling of cryogenic liquids]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1995. 400 p. (in Russian).
17. V. G. Baidakov. Attainable superheating of liquefied gases and their solutions (review article). *Low Temperature Physics*, 2013, vol. 39, no. 8, pp. 643–664. DOI: 10.1063/1.4818789.
18. D. W. Plachta, W. L. Johnson, J. R. Feller. Zero boil-off system testing. *Cryogenics*, 2016, vol. 74, pp. 88–94. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.009.
19. K. Bellur, E. F. Médecin, M. Kulshreshtha, V. Konduru, D. Tyrewala, A. Tamilarasan, J. McQuillen, J. B. Leão, D. S. Hussey, D. L. Jacobson, J. Scherschligt, J. C. Hermanson, C. K. Choi, J. S. Allen. A new experiment for investigating evaporation and condensation of cryogenic propellants. *Cryogenics*, 2016, vol. 74, pp. 131–137. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.016.
20. W. U. Notardonato, A. M. Swanger, J. E. Fesmire, K. M. Jumper, W. L. Johnson, T. M. Tomsik. Final test results for the ground operations demonstration unit for liquid hydrogen. *Cryogenics*, 2017, vol. 88, pp. 147–155. DOI: 10.1016/j.cryogenics.2017.10.008.
21. J. P. Holman. *Heat transfer*. 10th ed. New York, McGraw-Hill, 2009. 758 p.
22. L. Vandeboeck, J. Berghmans. Safety aspects of the use of LNG for marine propulsion. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 45, pp. 21–26. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.114.
23. V. S. Ajaev. *Interfacial fluid mechanics: A mathematical modeling approach*. Boston, MA, Springer, 2012. 217 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-1341-7.

Материал поступил в редакцию 10 января 2019 г.

Received January 10, 2019

Информация об авторах

ГОРЕВ Вячеслав Александрович, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kafedrapb@yandex.ru

ОВСЯННИКОВ Дмитрий Леонидович, ООО “Центр пожарной безопасности”, Московская область, г. Пушкино, Российская Федерация; e-mail: ovsyannikov.94@gmail.com

Information about the authors

Vyacheslav A. GOREV, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Integrated Safety in Construction Department, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; e-mail: kafedrapb@yandex.ru

Dmitriy L. OVSYANNIKOV, Fire Safety Centre LLC, Moscow Region, Pushkino, Russian Federation; e-mail: ovsyannikov.94@gmail.com

Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов модифицированными суспензиями воды с углеродными наноструктурами

© А. В. Иванов¹✉, Д. П. Торопов¹, Л. В. Медведева¹, Е. С. Калинина¹

¹ Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
(Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

РЕЗЮМЕ

Введение. Целью настоящей работы является определение механизма тушения жидких углеводородов и разработка способа их тушения водосодержащими суспензиями с УНС.

Материалы. В качестве наноматериалов, диспергированных в дистиллированную воду, использовались нефункционализированные (non-funct) и функционализированные многослойные углеродные нанотрубки (MWCNT), а также астралены (Astr).

Экспериментальная часть включала определение pH суспензий; исследование наноструктур методом атомно-силовой микроскопии; измерение поверхностного натяжения суспензий; определение скорости их нагрева до температуры кипения, удельной теплоты парообразования; измерение времени тушения модельного очага класса В.

Результаты и обсуждение. Механизм тушения горящих жидких углеводородов суспензиями воды с УНС достигается за счет интенсификации процессов теплоотвода в зоне горения паров нефтепродуктов. Диспергирование малых концентраций УНС (MWCNT, Astr) 0,05–1,0 % об. в водосодержащие составы приводит к увеличению скорости нагрева до температуры кипения и более интенсивному парообразованию, улучшению огнетушащих характеристик при подаче распыленных капель суспензий в зону горения.

В суспензиях DW + non-funct MWCNT и DW + MWCNT с концентрацией 0,8–1,0 % об. повышение огнетушащей эффективности достигается за счет увеличения удельной теплоты парообразования до 2300...2400 кДж/кг, для DW + Astr с концентрацией 0,2–0,5 % об. — 2400...2600 кДж/кг, для DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT с концентрацией 0,5–1,0 % об. — 1100...1400 кДж/кг.

Зависимость времени тушения от скорости нагрева до температуры кипения имеет экстремум в интервале 5,5...6,5 °С/мин для суспензий DW+non-funct MWCNT и DW+MWCNT с концентрацией 0,8–1,0 % об., 5,5...6,5 °С/мин для DW+Astr с концентрацией 0,2–0,5 % об. и 6,0...8,0 °С/мин для DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT с концентрацией 0,5–1,0 % об.

Заключение. Предложенный способ пожаротушения позволяет значительно повысить эффективность ОТВ на основе воды при тушении жидких углеводородов за счет интенсификации процессов испарения и охлаждения зоны горения.

Ключевые слова: огнетушащее вещество; многослойные углеродные нанотрубки; астралены; электрофизическое воздействие; гелеобразователь; теплопередача; парообразование; ван-дер-ваальсовы силы.

Для цитирования: Иванов А. В., Торопов Д. П., Медведева Л. В., Калинина Е. С. Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов модифицированными суспензиями воды с углеродными наноструктурами // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 22–34. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.22-34.

✉ Иванов Алексей Владимирович, e-mail: spark002@mail.ru

Physical mechanism and method for fire liquid hydrocarbons by modified water suspensions of carbon nanostructures

© A. V. Ivanov¹✉, D. P. Toropov¹, L. V. Medvedeva¹, E. S. Kalinina¹

¹ Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia
(Moscow Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The purpose of this work is to determine the mechanism for extinguishing liquid hydrocarbons and develop a method for extinguishing them with water-based suspensions with carbon nanostructures.

Materials. Nonfunctionalized (non-funct) and functionalized multilayer carbon nanotubes (MWCNT), as well as astralenes (Astr), were used as nanomaterials dispersed in distilled water.

Experimental part. The experimental part included determining the pH of the suspensions; research of nanostructures by atomic force microscopy; measurement of surface tension suspensions; determining the rate of their heating to the boiling point, the specific heat of vaporization; time measurement of extinguishing model hearth class B.

Results and discussion. The burning liquid hydrocarbons extinguishing mechanism with water and carbon nanostructures suspensions is achieved by intensifying the processes of heat removing from the petroleum product vapors combustion zone. Dispersion of low concentrations of carbon nanostructures (MWCNT, Astralen) 0.05–1.0 % by vol. in aqueous compositions on the base of distilled water (DW) leads to increase the heating rate to the reflux temperature and more intense steam generation, an improvement in the quenching characteristics when sprayed drops are applied to the combustion zone.

In suspensions DW+non-funct MWCNT and DW+MWCNT with concentration 0.8–1.0 % by vol. fire extinguishing efficiency increase by increasing the values of specific heat of vaporization up to the interval 2300...2400 kJ/kg, for DW+Astralen with concentration 0.2–0.5 % by vol. — 2400...2600 kJ/kg, for DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT with concentration 0.5–1.0 % by vol. — 1100...1400 kJ/kg.

The quenching time dependence of the heating rate to boiling point has a characteristic extremum in the range of 5.5...6.5 °C/min for suspensions DW+non-funct MWCNT and DW + MWCNT with concentration of 0.8–1.0 % by vol., 5.5...6.5 °C/min for DW + Astralen with concentration of 0.2–0.5 % by vol. and 6.0...8.0 °C/min for DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT with concentration of 0.5–1.0 % by vol.

Conclusion. Proposed fire extinguishing method can significantly increase fire extinguishing agents effectiveness to eliminate the liquid hydrocarbons burning due to water and carbon nanostructures suspensions droplets intensive heating to the boiling point, evaporation and cooling of the combustion zone.

Keywords: fire extinguishing agent; multilayer carbon nanotubes; astralenes; electrophysical effects; gelling agent; heat transfer; vaporization; van der Waals interactions.

For citation: A. V. Ivanov, D. P. Toropov, L. V. Medvedeva, E. S. Kalinina. Physical mechanism and method for fire liquid hydrocarbons by modified water suspensions of carbon nanostructures. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 22–34 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.22-34.

✉ Aleksey Vladimirovich Ivanov, e-mail: spark002@mail.ru

Введение

Тушение пожаров жидких углеводородов водой осложнено недостаточным теплоотводом в зоне горения, проникновением воды под поверхность горящей жидкости, разбрызгиванием и уносом капель воды вследствие действия конвективных потоков в зоне горения [1, 2].

Повышение эффективности огнетушащих веществ (ОТВ) на основе воды связано с применением смачивателей, позволяющих создать пленку на поверхности нефтепродукта, а также с внедрением добавок, увеличивающих интенсивность нагрева капель воды до температуры кипения. Одним из перспективных направлений интенсификации теплоотвода является применение углеродных наноструктур (УНС) для увеличения теплопроводности жидкостей [3].

Отдельные результаты по использованию УНС для ОТВ изложены в [4]. Показано, что время тушения нефтепродуктов суспензиями на основе воды с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. в 5,5 раз меньше времени тушения водой, а при использовании гидрогелей (дистиллированная вода (DW) + Carbopol ETD 2020 0,2 % масс.) с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. оно сокращается до 10 раз.

Следует отметить, что существенным ограничением применения УНС в составе суспензий для пожаротушения является недостаточно большое «время жизни» суспензий (в среднем до 4 ч) за счет быстрой агломерации наночастиц, что может существенно снизить их эффективность. Данная пробле-

ма решается за счет изменения электрокинетического потенциала на границе раздела фаз *жидкость – твердое вещество* или внедрения сурфактантов [3], гелеобразующих компонентов [4], позволяющих стабилизировать суспензию с УНС на более длительный срок или весь период использования.

Целью настоящей работы было определение механизма тушения жидких углеводородов и разработка способа их тушения водосодержащими суспензиями с УНС в условиях электрофизической стабилизации наночастиц.

Материалы и методы исследований

В качестве наноматериалов, диспергированных в дистиллированную воду, использовались нефункционализированные (non-funct) и функционализированные многослойные углеродные нанотрубки (MWCNT), а также астралены (далее — Astr).

MWCNT представляют собой протяженные УНС диаметром 25...180 нм и длиной 1...3 мкм. Нефункционализированные MWCNT получены методом каталитического пиролиза [5]. Функционализация MWCNT и очистка от побочных продуктов синтеза осуществлялись по методике, описанной в [6]. MWCNT помещали в смесь 65 %-ной азотной кислоты (HNO_3) (1 г MWCNT на 50 мл HNO_3) и 35 %-ной серной кислоты (H_2SO_4). После кипячения окисленные MWCNT отфильтровывали, промывали дистиллированной водой до нейтрального pH фильтрата и высушивали при температуре 70–80 °C.

Астралены, полученные методом испарения графитовых анодов в электродуговом разряде [7], имеют структуру, состоящую из изогнутых графитовых слоев диаметром 10...150 нм, с расстоянием между ними 0,336 нм и со средним размером пор 20...60 нм. Астралены характеризуются высокой термической устойчивостью и в порошкообразном виде представляют собой крупные агломераты размером порядка 0,5...3,0 мкм [8].

Подготовка суспензий проводилась путем диспергирования УНС с объемной концентрацией 0,05–1,60 % об. в DW при воздействии источника ультразвука (мощностью 1,2 кВт, частотой 50–60 Гц) в течение 30 мин. Часть образцов подвергалась воздействию переменного электрического поля с напряженностью 1,5–2,0 кВ/м и частотой 50 Гц, генерированного источником переменного-частотного модулируемого потенциала (ПЧМП) (далее — электрофизическое воздействие) [9]. Для стабилизации кластеров воды и УНС применялся редкоштитый полимер акриловой кислоты (РАА) Carbo-pol ETD 2020 с концентрацией гелеобразующего компонента 0,2 % масс., а также 10 %-ный водный раствор гидроксида аммония в количестве 10 мл на 1 л суспензии. В качестве контрольного образца использовалась дистиллированная вода в сочетании с non-funct MWCNT малой концентрации (0,01 % об.).

В работе применялись следующие методы: определение pH-показателя водных растворов по ГОСТ 33776–2016; исследование наноструктур методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) [10]; измерение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капель [11]; исследование кинетики нагрева суспензий до температуры кипения [12]; измерение удельной теплоты парообразования суспензий [13]; измерение времени тушения модельных очагов пожара класса В по методике, изложенной в работе [4].

Экспериментальная часть

Исследование pH суспензий

В ходе измерения pH суспензий выявлено (табл. 1), что добавление MWCNT и астраленов в

Таблица 1. Показатель pH водных суспензий с УНС
Table 1. pH values of aqueous suspensions with carbon nanostructures

№ п/п No.	Вещество / Substance	pH
1	DW	6,6
3	DW + non-funct MWCNT	6,4
4	DW + MWCNT	6,9
5	DW + Astr	6,6
6	DW + Carbo-pol ETD 2020 + MWCNT	10,0

дистиллированную воду не влияет на данный показатель, а внедрение в нее non-funct MWCNT незначительно снижает его (с 6,6 до 6,4).

Исследование наноструктур в суспензии методом атомно-силовой микроскопии

На АСМ-скане твердого остатка MWCNT наблюдаются протяженные структуры диаметром порядка 110 нм и длиной 1–3 мкм (рис. 1,а). При электрофизическом воздействии происходит более интенсивное разрушение агломераций MWCNT и уменьшение размера частиц приблизительно до 90 нм (рис. 1,б) с их одновременной ориентацией.

В ходе исследования топологии твердого остатка Astr наблюдаются скопления частиц диаметром 200–300 нм (рис. 1,в). При электрофизическом воздействии для суспензий DW + Astr также отмечено уменьшение размера частиц в среднем до 100 нм (рис. 1,г).

Измерение поверхностного натяжения суспензий

При диспергировании в суспензии DW + non-funct MWCNT (0,4–1,6 % об.) поверхностное натяжение снижается на 25 % в сравнении с DW. При воздействии ПЧМП наблюдается незначительное (на 2,0–2,5 %) уменьшение этого показателя в сравнении с исходной жидкостью (рис. 2,а). В суспензиях DW + MWCNT (0,4–1,6 % об.) происходит увеличение поверхностного натяжения на 30 % (рис. 2,б).

Для суспензий DW + Astr как без воздействия, так и при воздействии ПЧМП выявлено повышение поверхностного натяжения на 10–25 % при увеличении объемной концентрации астраленов с 0,05 до 1,0 % об. (рис. 2,в).

Для суспензий DW + Carbo-pol ETD 2020 + MWCNT при диспергировании MWCNT (0,1 % об.) поверхностное натяжение снижается с 0,062 до 0,024 Н/м, а при дальнейшем увеличении концентрации с 0,1 до 1,0 % об. возрастает с 0,024 до 0,037 Н/м (рис. 2,г).

Исследование скорости нагрева суспензий до температуры кипения

Результаты измерений показывают, что скорость нагрева суспензий DW + non-funct MWCNT до температуры кипения увеличивается на 70 % при концентрации наноматериала 1,6 % об. (рис. 3,а).

Для суспензий с DW + MWCNT и DW + Astr на начальной стадии нагрева кинетика роста температуры весьма схожа с суспензиями DW + non-funct MWCNT, однако при дальнейшем увеличении концентрации скорость нагрева остается неизменной (рис. 3,б и 3,в). Скорость роста температуры образца DW + Carbo-pol ETD 2020 + MWCNT (0,1–1,0 % об.) на 90 % выше в сравнении с DW (рис. 3,г).

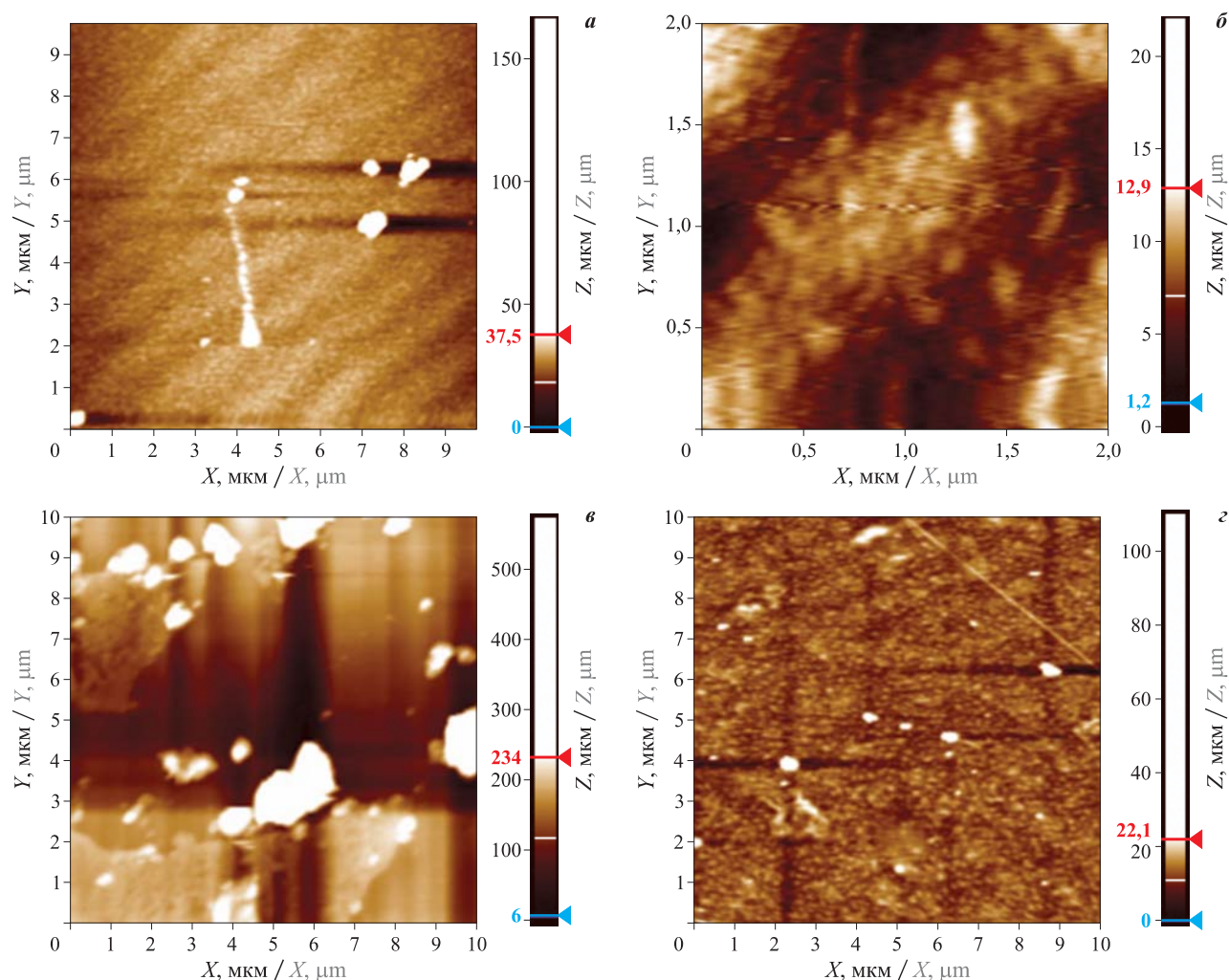


Рис. 1. АСМ-сканы агломераций УНС при диспергировании в DW: *a* — DW + MWCNT; *б* — DW + MWCNT + ПЧМП; *в* — DW + Astr; *г* — DW + Astr + ПЧМП

Fig. 1. AFM-scans of agglomerations of carbon nanostructures during dispersion in the DW: *a* — DW + MWCNT; *b* — DW + MWCNT + VFMP; *v* — DW + Astr; *g* — DW + Astr + VFMP

Измерение удельной теплоты парообразования суспензий

Результаты определения удельной теплоты парообразования суспензий свидетельствуют о ее увеличении до 20 % при росте концентраций non-funct MWCNT и MWCNT до 1,0 % об. как без воздействия, так и при воздействии ПЧМП (рис. 4, *a* и 4, *б*).

При росте концентрации Astr до 0,5 % об. происходит повышение удельной теплоты парообразования до 25 %, а дальнейшее увеличение концентрации приводит к ее резкому (на 40 %) уменьшению. При этом скорость нагрева суспензий до температуры кипения возрастает во всем наблюдаемом интервале концентраций и достигает 47 % при концентрации Astr 1,0 % об. (рис. 4, *в*).

При использовании гелеобразователя Carbopol ETD 2020 с концентрацией MWCNT до 0,1 % об. удельная теплота парообразования снижается с 2145 до 900 кДж/кг в сравнении с DW, а при росте кон-

центрации с 0,4 до 1,0 % об. — увеличивается с 900 до 1350 кДж/кг (рис. 4, *г*).

Измерение времени тушения модельного очага пожара класса В

В ходе экспериментов по определению времени тушения модельного очага класса В (диаметр противня 450 мм, горючая смесь — бензин автомобильный с октановым числом 95 и вода в пропорции 7:3) выявлено, что с ростом концентрации Astr до 0,5 % об. и MWCNT до 1,0 % об. наблюдается сокращение времени ликвидации горения на 75–80 % в сравнении с контрольным образцом. При концентрации УНС 1,0 % об. происходит увеличение времени тушения в 1,5 раза в сравнении с исходной жидкостью (рис. 5, *a–г*).

Для суспензий DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT с наноматериалом MWCNT 1,0 % об. время тушения пожара сократилось до 10 раз (рис. 5, *г*).

При тушении суспензиями DW с УНС модельных очагов пожара класса В наблюдается более ин-

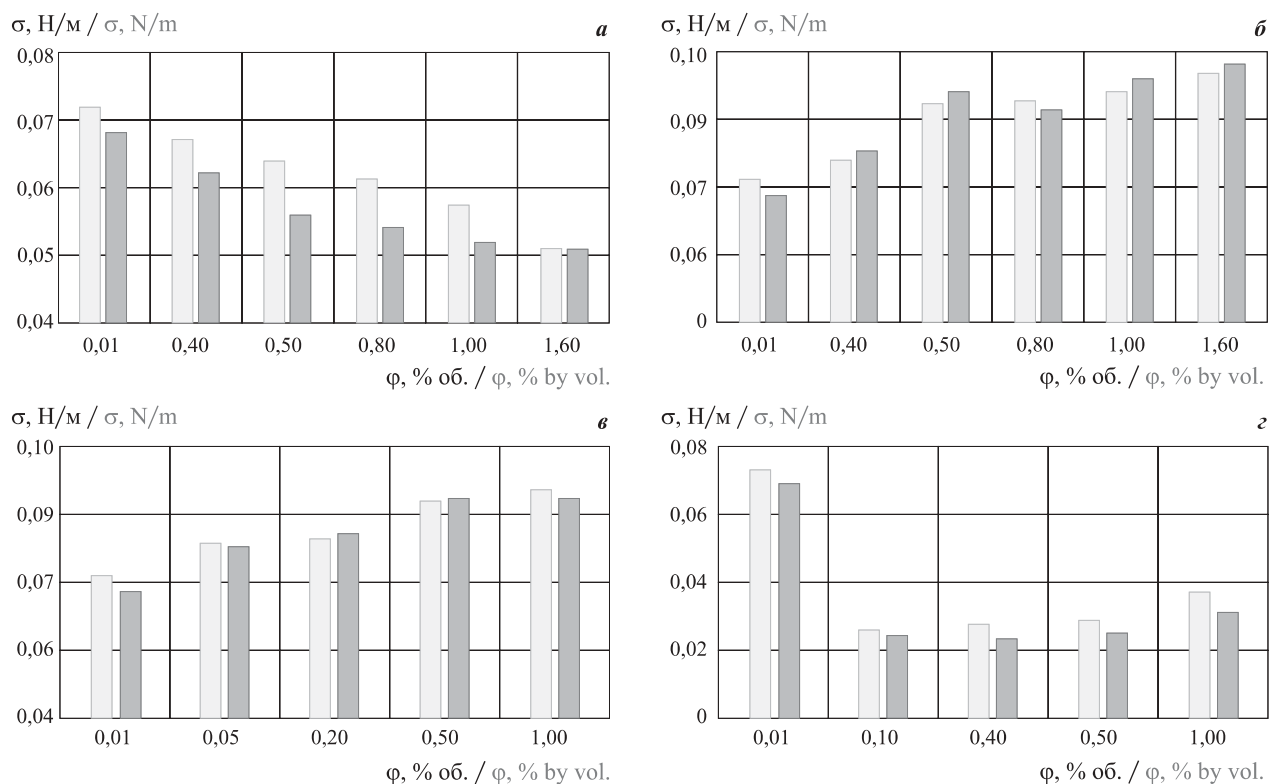


Рис. 2. Коэффициент поверхностного натяжения суспензий DW с УНС при воздействии ПЧМП (■) и без него (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 2. The surface tension coefficient of DW suspensions with carbon nanostructures under the action of VFMP (■) and without it (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

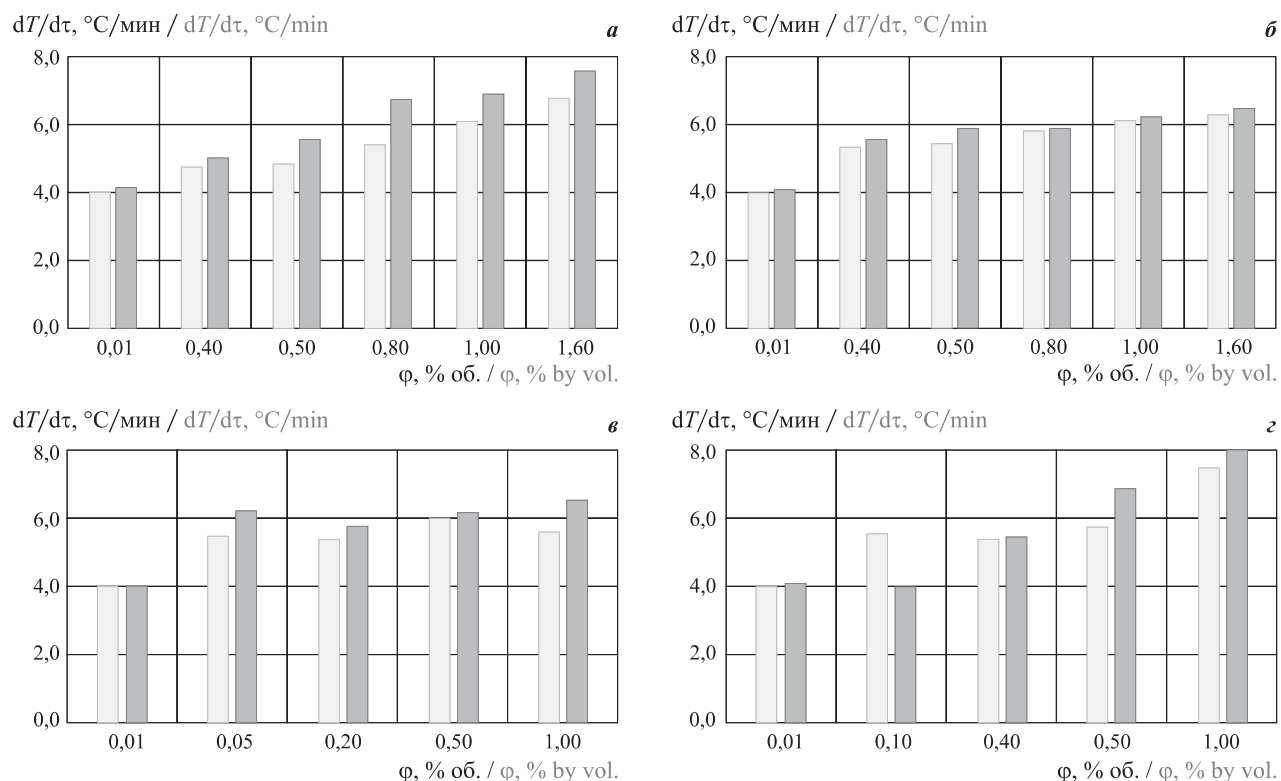


Рис. 3. Скорость нагрева суспензий DW с УНС до температуры кипения при воздействии ПЧМП (■) и без него (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 3. The heating rate of DW suspensions with carbon nanostructures to boiling point when exposed VFMP (■) and without it (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

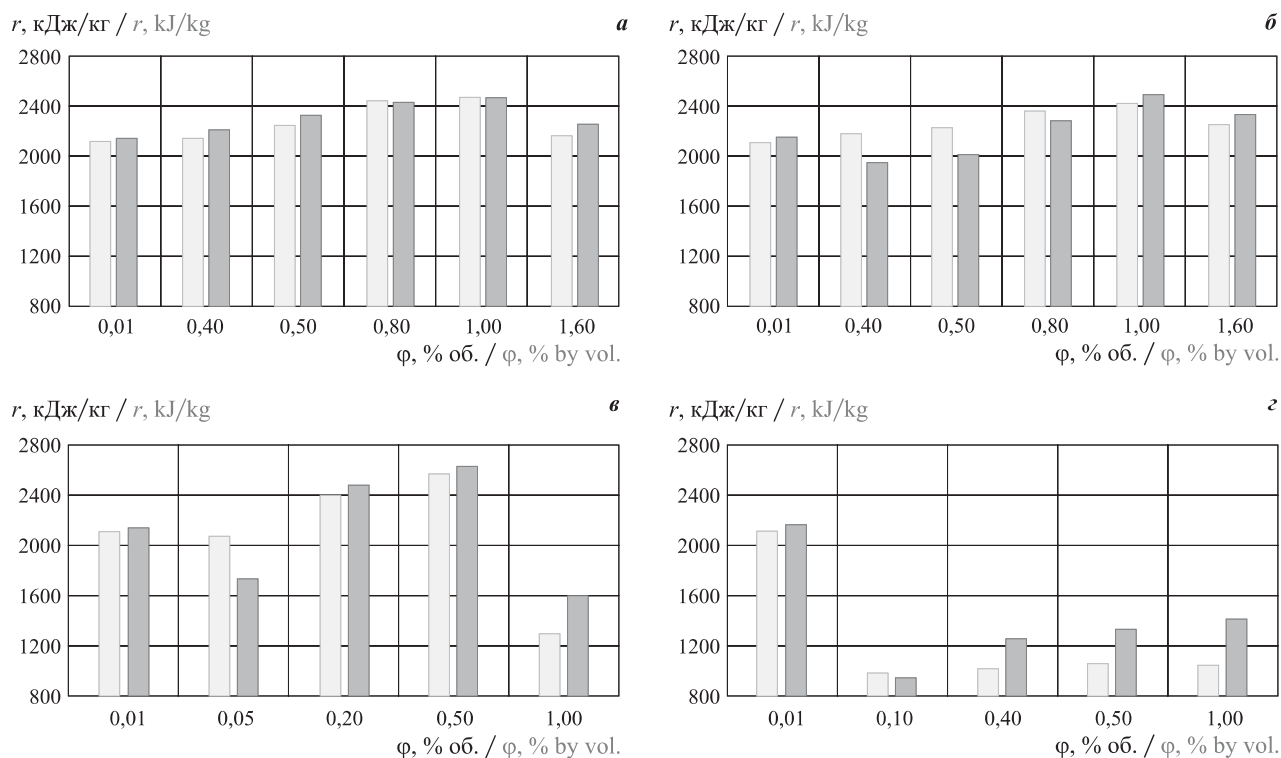


Рис. 4. Удельная теплота парообразования суспензий DW с УНС при воздействии ПЧМП (■) и без него (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; з — DW + Carbolpol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 4. Specific heat of vaporization of DW suspensions with carbon nanostructures when exposed VFMP (■) and without it (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbolpol ETD 2020 + MWCNT

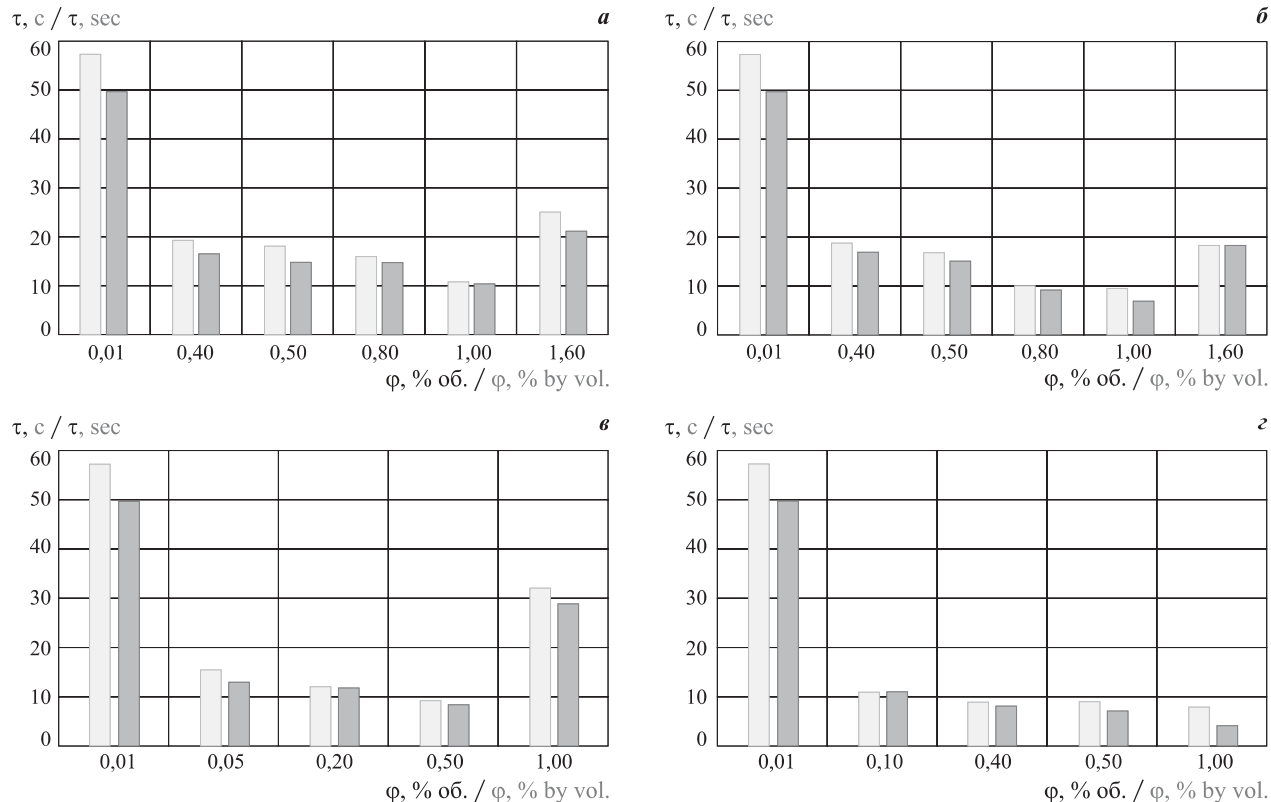


Рис. 5. Время тушения модельного очага пожара класса В суспензиями DW с УНС при воздействии ПЧМП (■) и без него (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; з — DW + Carbolpol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 5. Time of extinguishing a model fire center of class B with DW suspensions with carbon nanostructures under the action of VFMP (■) and without it (■): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbolpol ETD 2020 + MWCNT



Рис. 6. Фрагменты процесса тушения бензина суспензиями DW с УНС: *a* — DW + MWCNT (0,01 % об.); *б* — DW + MWCNT (0,5 % об.)

Fig. 6. Fragments of the process of extinguishing gasoline with suspensions of DW with carbon nanostructures: *a* — DW + MWCNT (0,01 % by vol.); *b* — DW + MWCNT (0,5 % by vol.)

тенсивное парообразование в зоне горения по сравнению с контрольным образцом (рис. 6).

С увеличением концентрации УНС до 0,5 % наблюдается повышение интенсивности парообразования. При дальнейшем росте концентрации УНС образование паров в зоне горения становится менее интенсивным и одновременно увеличивается время тушения.

Результаты и их обсуждение

Физический механизм тушения пожаров класса В распыленными суспензиями воды с УНС

Физический механизм тушения пожаров класса В распыленными суспензиями воды с УНС основан на снижении температуры в зоне горения до температуры потухания, при которой не происходит выделения достаточного количества паров углеводородов, необходимого для дальнейшего продолже-

ния горения. В соответствии с теорией потухания пламени, разработанной Я. Б. Зельдовичем, самопроизвольное горение становится невозможным, если нарушается тепловое равновесие в зоне горения до некоторого критического значения (адиабатической температуры потухания $T_{\text{пот}}$) [14]:

$$T_{\text{пот}} = T_{\text{ад}} - \Delta T, \quad (1)$$

где $T_{\text{ад}}$ — адиабатическая температура, К;

ΔT — изменение температуры, К.

Углеродные наноструктуры обладают транспортными характеристиками на уровне металлов, а также значительной химической и термической стойкостью [15]. Являясь гидрофобными, исследуемые УНС взаимодействуют с кластерами воды посредством ван-дер-ваальсовых сил. При этом жидкая вода вокруг наночастиц является квазинеполарной средой, к слабому эффекту поляризации УНС [16] (рис. 7).

Значимым фактором в изменении свойств наноструктур являются гигантские резонансы электромагнитных полей на поверхности наночастиц [17], что определяет значительное изменение свойств наноматериалов с малой концентрацией УНС под действием ван-дер-ваальсовых сил [18].

Механизм переноса тепла в суспензиях с УНС основан на влиянии броуновского движения углеродных наночастиц и образования высокотеплопроводного жидкого слоя на границе раздела фаз *жидкость — твердая частица* [19]. Процесс кипения наносуспензий зависит от свойств базовой жидкости, вида и концентрации содержащихся в ней наночастиц, что во многом определяет характер тепло-массопереноса с фазовыми превращениями, процесс теплоотдачи на поверхности испаряющихся капель и характер кипения (пленочное или пузырьковое) в объеме жидкости [20].

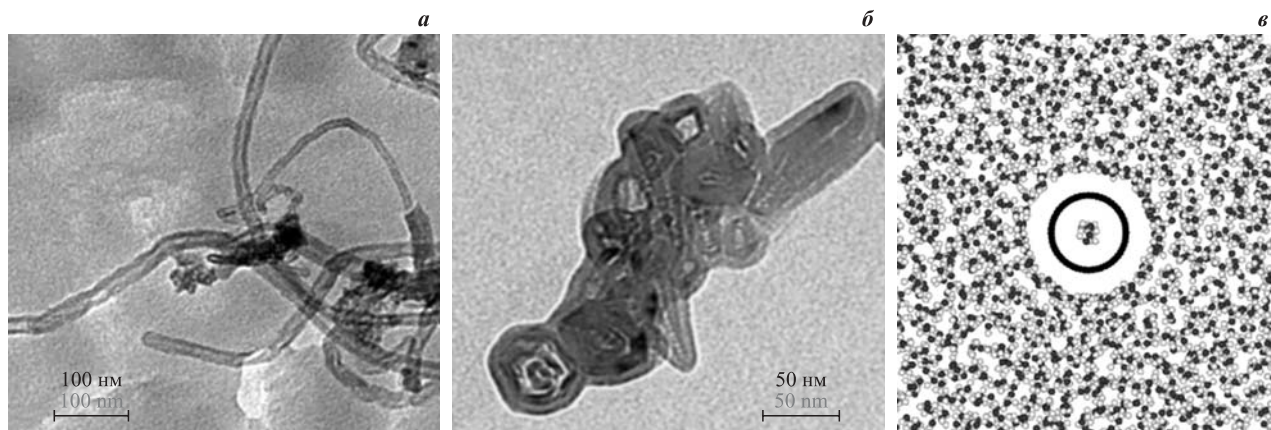


Рис. 7. Диспергированные углеродные наноструктуры в DW: *a* — ПЭМ-изображения DW + MWCNT (по данным [15]); *б* — ПЭМ-изображения DW + Astr; *в* — результаты моделирования взаимодействия атомов MWCNT в DW (по данным [16])

Fig. 7. Carbon nanostructures when dispersed in DW: *a* — TEM images DW + MWCNT (according to [15]); *b* — TEM images DW + Astr; *v* — modeling the interaction of MWCNT in DW (according to [16])

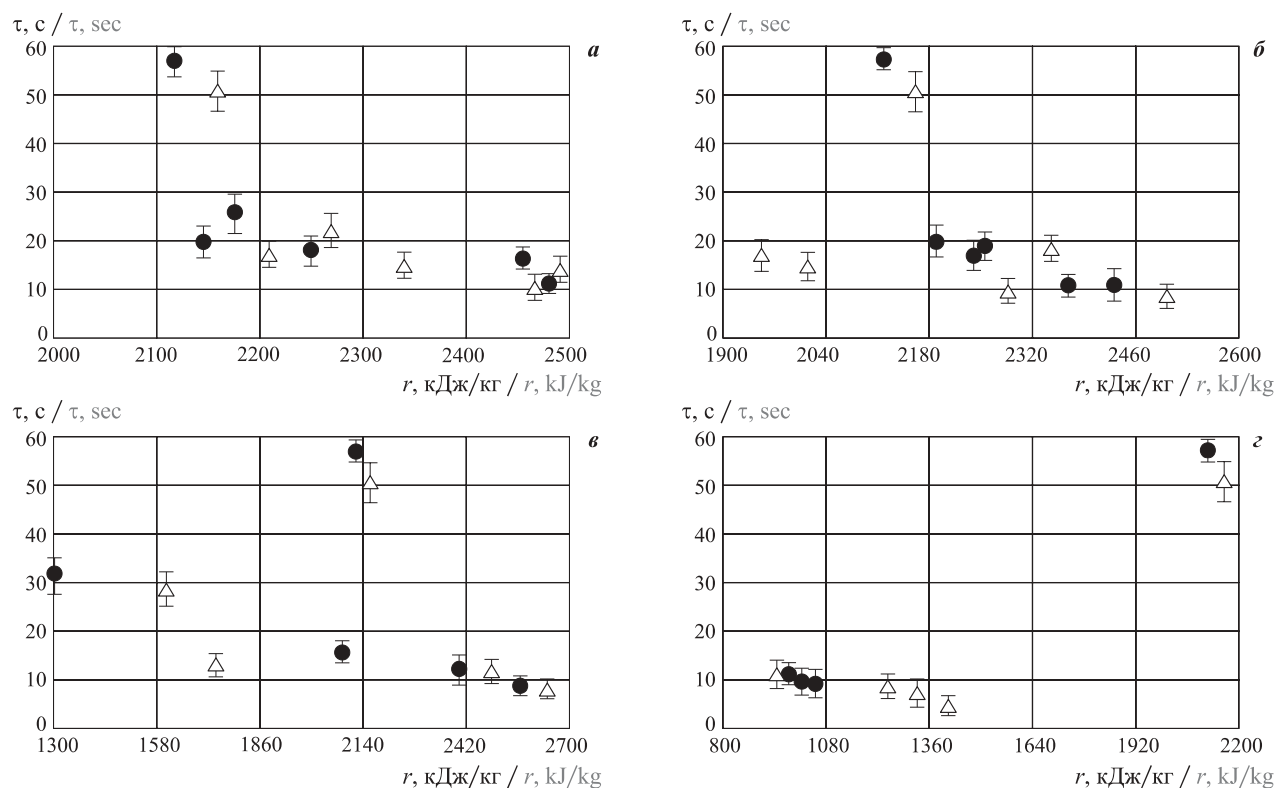


Рис. 8. Зависимость времени тушения суспензиями от удельной теплоты парообразования при воздействии ПЧМП (Δ) и без него ($\bullet$): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 8. The dependence of the quenching time of suspensions on the specific heat of vaporization when exposed to VFMP (Δ) and without it ($\bullet$): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

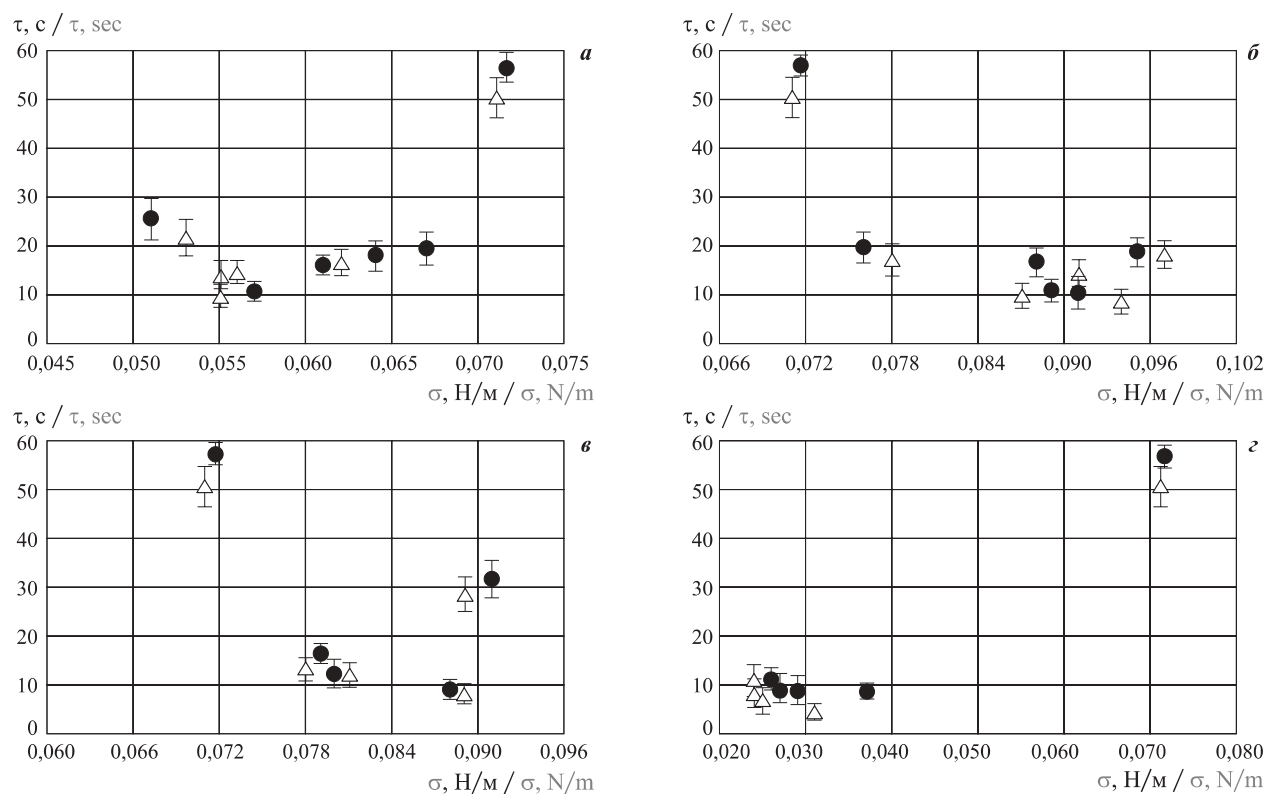


Рис. 9. Зависимость времени тушения суспензиями от коэффициента поверхностного натяжения σ при воздействии ПЧМП (Δ) и без него ($\bullet$): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 9. The dependence of the time of quenching suspensions of the surface tension coefficient when exposed to VFMP (Δ) and without it ($\bullet$): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

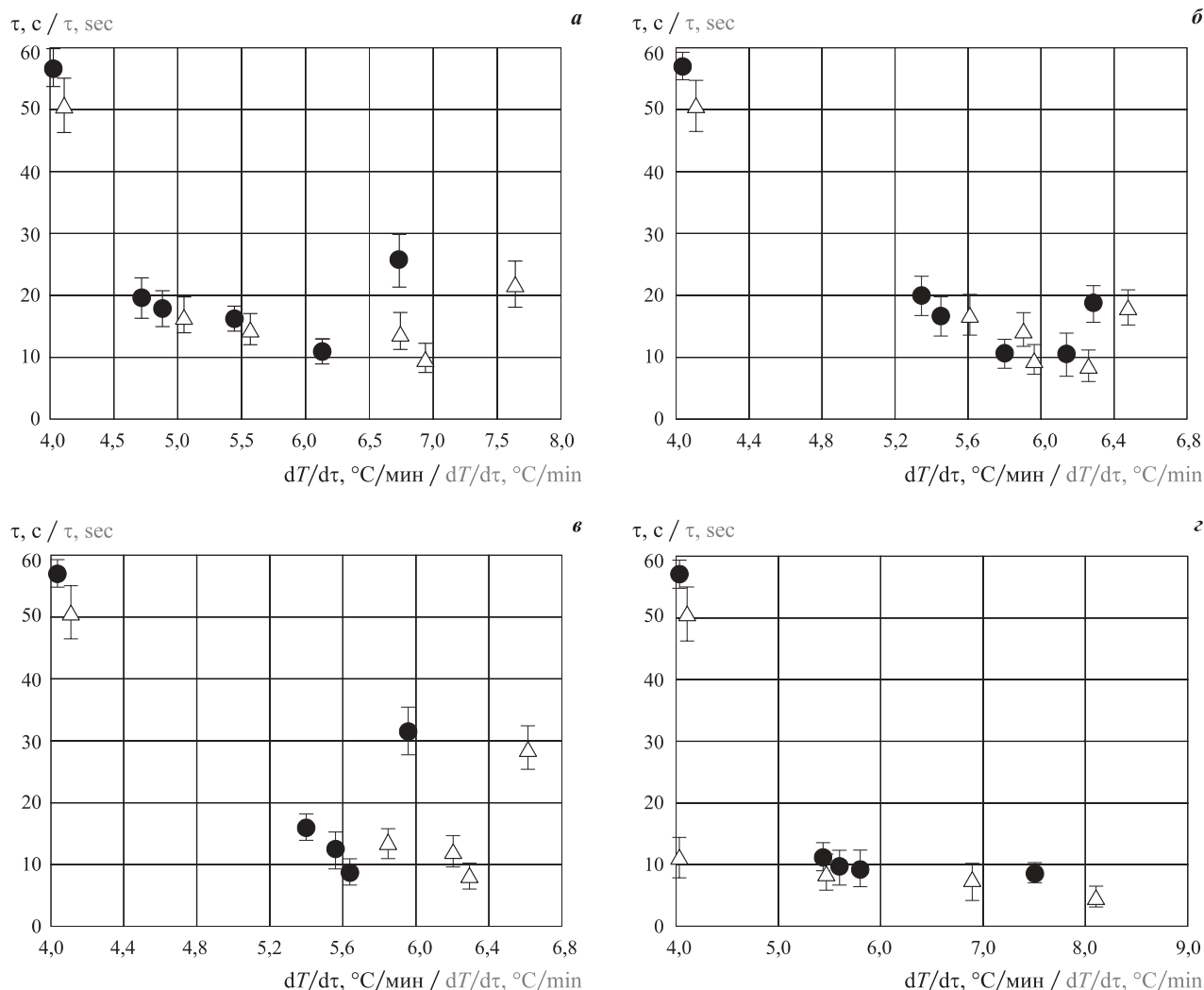


Рис. 10. Зависимость времени тушения суспензиями от скорости их нагрева до температуры кипения при воздействии ПЧМП (Δ) и без него ($\bullet$): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

Fig. 10. Dependence of the time of quenching by suspensions on the rate of their heating to the boiling point when exposed to VFMP (Δ) and without it ($\bullet$): а — DW + non-funct MWCNT; б — DW + MWCNT; в — DW + Astr; г — DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT

Зависимость времени тушения исследуемыми наносуспензиями от удельной теплоты парообразования имеет характерный экстремум в интервале 2300...2400 кДж/кг для суспензий DW + non-funct MWCNT и DW + MWCNT с концентрацией 0,8–1,0 % об., 2400...2600 кДж/кг — для DW + Astr с концентрацией 0,2–0,5 % об. и 1100...1400 кДж/кг — для DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT с концентрацией 0,5–1,0 % об. (рис. 8).

Парообразование, происходящее в процессе разрыва связи между соседними молекулами жидкости и перемещения их в газовую среду [21], зависит от сил поверхностного натяжения в жидкости. Зависимость времени тушения от коэффициента поверхностного натяжения имеет характерный экстремум в интервале 0,055...0,060 Н/м для DW + non-funct MWCNT с концентрацией 0,8–1,0 % об., 0,085...0,095 Н/м — для DW + MWCNT с концентрацией 0,8–1,0 % об., 0,080...0,090 Н/м — для DW + Astr

с концентрацией 0,2–0,5 % об. и 0,020...0,030 Н/м — для DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT с концентрацией 0,5–1,0 % об. (рис. 9).

Зависимость времени тушения от скорости нагрева суспензий до температуры кипения имеет характерный экстремум в интервале 5,5...6,5 °C/мин для DW + non-funct MWCNT и DW + MWCNT с концентрацией 0,8–1,0 % об., 5,5...6,5 °C/мин — для DW + Astr с концентрацией 0,2–0,5 % об. и 6,0...8,0 °C/мин — для DW + Carbopol ETD 2020 + MWCNT с концентрацией 0,5–1,0 % об. (рис. 10).

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что суспензии на основе воды с УНС являются огнетушащими веществами преимущественно охлаждающего и разбавляющего действия. При попадании в область горения каплей суспензий происходит их интенсивный разогрев до температуры кипения с последующим испарением и охлаждением зоны горения. При достаточном количестве паров

воды в зоне горения наблюдается потухание пламени. При этом рост значений удельной теплоты парообразования влечет за собой увеличение количества отобранной из зоны горения тепловой энергии. Повышение концентрации A_{str} до 0,5 % об. и MWCNT до 1,0 % об. в суспензиях сокращает время тушения пожара жидких углеводородов в 3–5 раз в сравнении с контрольными образцами. Дальнейшее увеличение концентрации наночастиц приводит к агрегации УНС, что снижает эффективную теплопроводность суспензий и удельную теплоту парообразования.

Способ тушения пожаров жидких углеводородов распыленными суспензиями воды с УНС

Способ тушения пожаров жидких углеводородов распыленными суспензиями воды с УНС основан на интенсификации процессов теплоотвода из зоны горения. На поверхности горючих веществ образуется слой кипящей жидкости, которая испаряясь снижает температуру горючей среды и тем самым реализует подавление процесса гетерогенного горения.

Предлагаемый способ тушения пожаров класса В имеет многопрофильное применение и дает возможность использовать огнетушащие суспензии в стандартных установках пожаротушения. Блок-схема способа ликвидации горения жидких углеводородов суспензиями воды с УНС представлена на рис. 11.

Огнетушащую суспензию получают путем диспергирования УНС (MWCNT, A_{str}) в воду. Суспензия состоит из раствора воды с наноматериалом MWCNT, стабилизированным гелеобразователем Carborol ETD 2020 с массовой концентрацией 0,2 %.

Для реализации способа тушения пожаров, связанных с горением жидких углеводородов, предложены технические рекомендации по применению модифицированных суспензий воды с УНС (табл. 2).

Таким образом, указанный способ позволяет значительно повысить эффективность применения ОТВ для ликвидации горения жидких углеводородов за счет интенсивного разогрева капель воды с УНС до температуры кипения с последующим испарением и охлаждением зоны горения. Он может быть использован в автоматических установках пожаротушения, первичных средствах пожаротушения, а также в стандартном пожарно-техническом оборудовании, используемом подразделениями пожарной охраны МЧС России.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют, что суспензии воды с УНС являются эффективными

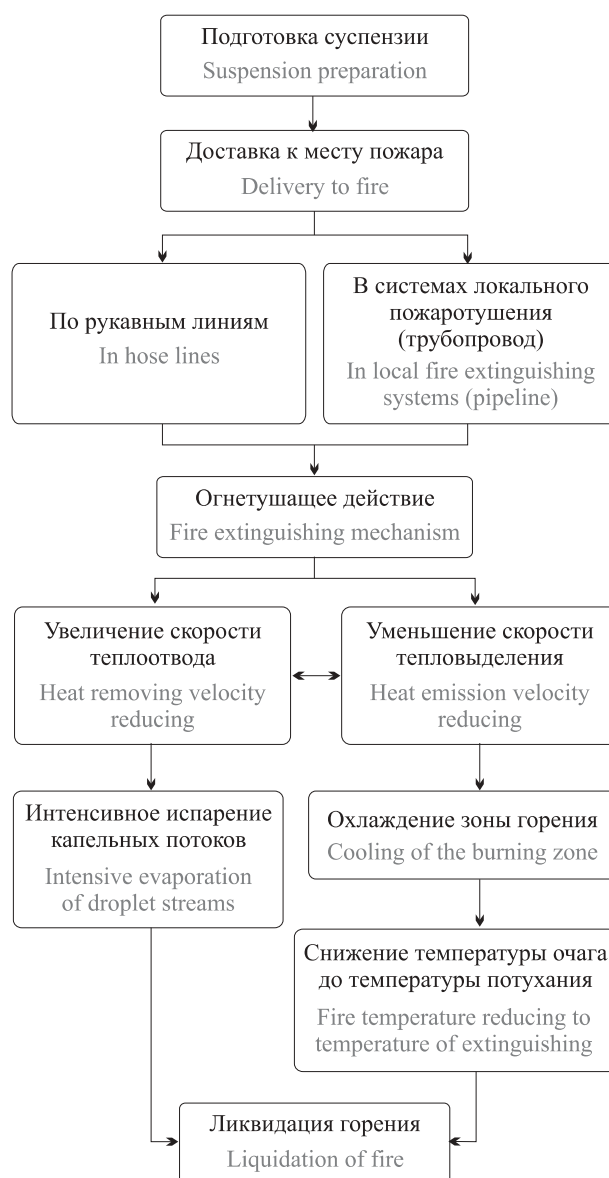


Рис. 11. Блок-схема способа ликвидации горения жидких углеводородов суспензиями воды с УНС

Fig. 11. Block diagram of a method for eliminating the combustion of liquid hydrocarbons with water suspensions with carbon nanostructures

ОТВ для тушения горящих жидких углеводородов при относительно малой концентрации УНС. Диспергирование УНС интенсифицирует теплообмен в распыленных каплях ОТВ, что ведет к более быстрому разогреву их в условиях теплового воздействия пламени. Предложенный способ тушения позволяет значительно сократить время тушения пожара путем подачи распыленных капель воды в зону горения паров жидких углеводородов, а также дает возможность использовать разработанные ОТВ в модульных установках и первичных средствах пожаротушения.

Таблица 2. Технические рекомендации по применению суспензий воды с УНС**Table 2.** Technical recommendations for the use of water suspensions with carbon nanostructures

№ п/п No.	Техническая рекомендация Technical recommendation	Ожидаемый результат Expected result
1	Оборудование систем автоматического пожаротушения на объектах нефтяной промышленности распыленными суспензиями воды с УНС Equipment of automatic fire extinguishing systems at the facilities of the petroleum industry with sprayed suspensions of water with carbon nanostructures	1. Уменьшение времени тушения пожара. 2. Снижение потребности в большом количестве ОТВ. 3. Использование в стандартных модульных установках пожаротушения. 4. Интенсификация охлаждения зоны горения за счет быстрого испарения капель ОТВ. 5. Достижение эффекта тушения по всей площади горения. 6. Обеспечение высокой термической стойкости наночастиц при воздействии высоких температур. 7. Снижение риска экологических последствий вследствие попадания в окружающую среду токсичных компонентов 1. Reducing the time of extinguishing the fire. 2. Reducing the need for large quantities of extinguishing agent. 3. Use in standard modular fire extinguishing installations. 4. Intensification of the cooling of the combustion zone due to the rapid evaporation of OTF droplets. 5. Achieving the effect of quenching over the entire area of combustion. 6. Ensuring high thermal stability of nanoparticles when exposed to high temperatures. 7. Reducing the risk of environmental effects due to the release of toxic components into the environment
2	Использование в первичных средствах пожаротушения Use in primary fire extinguishing equipment	1. Уменьшение времени тушения. 2. Снижение расхода ОТВ. 3. Возможность использования огнетушителей малых размеров. 4. Сохранение стабильности состава ОТВ на весь период использования. 5. Снижение уровня воздействия опасных факторов пожара 1. Reducing quenching time. 2. Reducing the consumption of extinguishing agent. 3. The ability to use fire extinguishers of small sizes. 4. Maintaining the stability of the composition of the extinguishing agent for the entire period of use. 5. Reducing the impact of fire hazards

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rasbash D. J., Rogowski Z. W., Stark G. W. V.* Mechanisms of extinction of liquid fires with water sprays // *Combustion and Flame*. — 1960. — Vol. 4. — P. 223–234. DOI: 10.1016/S0010-2180(60)80026-0.
2. *Шароварников А. Ф., Мельников А. И.* Экспериментальные исследования огнетушащей способности водных пленкообразующих растворов фторированных поверхностно-активных веществ // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2015. — Т. 24, № 9. — С. 74–81. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81.
3. *Yu W., Xie H.* A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications // *Journal of Nanomaterials*. — 2012. — 17 p. DOI: 10.1155/2012/435873.
4. *Иванов А. В., Торопов Д. П., Ивахнюк Г. К., Федоров А. В., Кузьмин А. А.* Исследование огнетушащих свойств воды и гидрогелей с углеродными наноструктурами при ликвидации горения нефтепродуктов // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 31–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.
5. *Zhao Q., Jiang T., Li C., Yin H.* Synthesis of multi-wall carbon nanotubes by Ni-substituted (loading) MCM-41 mesoporous molecular sieve catalyzed pyrolysis of ethanol // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. — 2011. — Vol. 17, No. 2. — P. 218–222. DOI: 10.1016/j.jiec.2011.02.009.
6. *Sun Y.-P., Fu K., Lin Y., Huang W.* Functionalized carbon nanotubes: properties and applications // *Accounts of Chemical Research*. — 2002. — Vol. 35, No. 12. — P. 1096–1104. DOI: 10.1021/ar010160v.
7. *Shames A. I., Katz E. A., Panich A. M., Mogilyansky D., Mogilko E., Grinblat J., Belousov V. P., Belousova I. M., Ponomarev A. N.* Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles // *Diamond and Related Materials*. — 2009. — Vol. 8, No. 2-3. — P. 505–510. DOI: 10.1016/j.diamond.2008.10.056.
8. *Ponomarev A., Iudovich M.* Multi-layered carbon nanoparticles of the fulleroid type. US Grant 9090752B2, July 28, 2015.

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., Клячков 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: 10.11.2018).
10. Voigtländer B. Scanning probe microscopy. — Berlin, Heidelberg : Springer, 2015. — 382 p. DOI: 10.1007/978-3-662-45240-0.
11. Khaleduzzaman S. S., Mahbulul I. M., Shahrul I. M., Saidur R. Effect of particle concentration, temperature and surfactant on surface tension of nanofluids // International Communications in Heat and Mass Transfer. — 2013. — Vol. 49. — P. 110–114. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.10.010.
12. Ding Y., Alias H., Wen D., Williams R. A. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids) // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2006. — Vol. 49, No. 1-2. — P. 240–250. DOI: 10.1016/j.jheatmasstransfer.2005.07.009.
13. Suriyawong A., Wongwises S. Nucleate pool boiling heat transfer characteristics of TiO₂-water nanofluids at very low concentrations // Experimental Thermal and Fluid Science. — 2010. — Vol. 34, No. 8. — P. 992–999. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2010.03.002.
14. Nolan D. P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. — 2nd ed. — Elsevier Inc., 2011. — 340 p. DOI: 10.1016/B978-1-4377-7857-1.00039-2.
15. Bhattacharya P., Sahoo S., Das C. K. Microwave absorption behaviour of MWCNT based nanocomposites in X-band region // Express Polymer Letters. — 2013. — Vol. 7, No. 3. — P. 212–223. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2013.20.
16. Moulin F., Devel M., Picaud S. Molecular dynamics simulations of polarizable nanotubes interacting with water // Physical Review B. — 2005. — Vol. 71, No. 16. — P. 165401. DOI: 10.1103/PhysRevB.71.165401.
17. Пономарев А. Н., Юдович М. Е., Груздев М. В., Юдович В. М. Неметаллическая наночастица во внешнем электромагнитном поле. Топологические факторы взаимодействия мезоструктур // Вопросы материаловедения. — 2009. — № 4(60). — С. 59–64.
18. Дзялошинский И. Е., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Общая теория Ван-дер-Ваальсовых сил // Успехи физических наук. — 1961. — Т. 73, № 3. — С. 381–422.
19. Терехов В. И., Шишкин Н. Е. Испарение капель воды с углеродными нанотрубками // Письма в Журнал технической физики. — 2012. — Т. 38, № 1. — С. 51–57.
20. Das S. K., Choi S. U. S., Yu W., Pradeep T. Nanofluids: science and technology. — Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2007. — 397 p. DOI: 10.1002/9780470180693.
21. Tanvir S., Qiao L. Surface tension of nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials // Nano-scale Research Letters. — 2012. — Vol. 7, No. 1. — P. 226. DOI: 10.1186/1556-276X-7-226.

REFERENCES

1. D. J. Rasbash, Z. W. Rogowski, G. W. V. Stark. Mechanisms of extinction of liquid fires with water sprays. *Combustion and Flame*, 1960, vol. 4, pp. 223–234. DOI: 10.1016/S0010-2180(60)80026-0.
2. A. F. Sharovarnikov, A. I. Melnikov. Experimental studies of fire extinguishing capacity of the water film forming solutions containing fluorinated surfactants. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 9, pp. 74–81 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.74-81.
3. W. Yu, H. Xie. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 17 p. DOI: 10.1155/2012/435873.
4. A. V. Ivanov, D. P. Toropov, G. K. Ivakhnyuk, A. V. Fedorov, A. A. Kuzmin. Research of the extinguishing properties of water and hydrogel with carbon nanoparticles for liquidation burning of the petroleum products. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 31–44 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.
5. Q. Zhao, T. Jiang, C. Li, H. Yin. Synthesis of multi-wall carbon nanotubes by Ni-substituted (loading) MCM-41 mesoporous molecular sieve catalyzed pyrolysis of ethanol. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 218–222. DOI: 10.1016/j.jiec.2011.02.009.
6. Y.-P. Sun, K. Fu, Y. Lin, W. Huang. Functionalized carbon nanotubes: properties and applications. *Accounts of Chemical Research*, 2002, vol. 35, no. 12, pp. 1096–1104. DOI: 10.1021/ar010160v.
7. A. I. Shames, E. A. Katz, A. M. Panich, D. Mogilyansky, E. Mogilko, J. Grinblat, V. P. Belousov, I. M. Belousova, A. N. Ponomarev. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles. *Diamond and Related Materials*, 2009, vol. 8, no. 2-3, pp. 505–510. DOI: 10.1016/j.diamond.2008.10.056.
8. A. Ponomarev, M. Iudovich. *Multi-layered carbon nanoparticles of the fulleroid type*. US Grant 9090752B2, July 28, 2015.

9. G. K. Ivakhnjuk, V. N. Matjukhin, V. A. Klachkov, A. O. Shevchenko, A. S. Knjazev, K. G. Ivakhnjuk, A. V. Ivanov, V. A. Rodionov. *Method and apparatus for controlling physical-chemical processes in substance and on a phase boundary*. Patent RU, no. 2479005, publ. date 10.04.2013, Bull. 10 (in Russian). Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (Accessed November 10, 2018).
10. B. Voigtländer. *Scanning probe microscopy*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2015. 382 p. DOI: 10.1007/978-3-662-45240-0.
11. S. S. Khaleduzzaman, I. M. Mahbulbul, I. M. Shahrul, R. Saidur. Effect of particle concentration, temperature and surfactant on surface tension of nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 49, pp. 110–114. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.10.010.
12. Y. Ding, H. Alias, D. Wen, R. A. Williams. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, vol. 49, no. 1-2, pp. 240–250. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.07.009.
13. A. Suriyawong, S. Wongwises. Nucleate pool boiling heat transfer characteristics of TiO₂-water nanofluids at very low concentrations. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2010, vol. 34, no. 8, pp. 992–999. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2010.03.002.
14. D. P. Nolan. *Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities*. 2nd ed. Elsevier Inc., 2011. 340 p. DOI: 10.1016/B978-1-4377-7857-1.00039-2.
15. P. Bhattacharya, S. Sahoo, C. K. Das. Microwave absorption behaviour of MWCNT based nanocomposites in X-band region. *Express Polymer Letters*, 2013, vol. 7, no. 3, pp. 212–223. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2013.20.
16. F. Moulin, M. Devel, S. Picaud. Molecular dynamics simulations of polarizable nanotubes interacting with water. *Physical Review B*, 2005, vol. 71, no. 16, p. 165401. DOI: 10.1103/PhysRevB.71.165401.
17. A. N. Ponomarev, M. E. Yudovitch, M. V. Gruzdev, V. M. Yudovitch. A nonmetallic nanoparticles in a superficial electromagnetic field. Topological factor of mesostructures interference. *Voprosy materialovedeniya / Problems of Materials Science*, 2009, no. 4(60), pp. 59–64 (in Russian).
18. I. E. Dzyaloshinskii, E. M. Lifshitz, L. P. Pitaevskii. General theory of van der Waals' forces. *Soviet Physics Uspekhi*, 1961, no. 4, pp. 153–176. DOI: 10.1070/PU1961v004n02ABEH003330.
19. V. I. Terekhov, N. E. Shishkin. Evaporation of water droplets containing carbon nanotubes. *Technical Physics Letters*, 2012, vol. 38, no. 1, pp. 25–28. DOI: 10.1134/S1063785012010142.
20. S. K. Das, S. U. S. Choi, W. Yu, T. Pradeep. *Nanofluids: science and technology*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2007. 397 p. DOI: 10.1002/9780470180693.
21. S. Tanvir, L. Qiao. Surface tension of nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials. *Nano-scale Research Letters*, 2012, vol. 7, no. 1, p. 226. DOI: 10.1186/1556-276X-7-226.

*Материал поступил в редакцию 20 ноября 2018 г.
Received November 20, 2018*

Информация об авторах

ИВАНОВ Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: spark002@mail.ru

ТОРОПОВ Дмитрий Павлович, адъюнкт кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: dmitrytoropov2012@yandex.ru

МЕДВЕДЕВА Людмила Владимировна, д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: luvlmed@mail.ru

КАЛИНИНА Елена Сергеевна, канд. пед. наук, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: elenakali21@yandex.ru

Information about the authors

Aleksey V. IVANOV, 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, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: spark002@mail.ru

Dmitry P. TOROPOV, Postgraduate Student of Department of Physical-Technical Basics of Fire Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: dmitrytoropov2012@yandex.ru

Lyudmila V. MEDVEDEVA, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of Department of Physical and Technical Basics of Fire Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: luvlmed@mail.ru

Elena S. KALININA, Candidate of Pedagogical Sciences, Professor of Department of Higher Mathematics and Systems Modeling of Complex Processes, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: dmitrytoropov2012@yandex.ru

Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях

© Н. Г. Топольский¹, И. В. Самарин² (✉), А. Ю. Строгонов²

¹ Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

² Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1)

РЕЗЮМЕ

Введение. Обоснована необходимость получения лицами, принимающими решения (ЛПР), полной информации о готовности к работе оборудования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) первого уровня информирования в любой момент времени. Данные о предпожарном состоянии на объекте топливно-энергетического комплекса (ТЭК) передаются с помощью элементов управления автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) в составе АСУТП. Показана связь определения состояния готовности оборудования АСПВБ со степенью выполнения профилактических работ. Целью исследования является получение научно обоснованного инструмента определения готовности оборудования АСПВБ к функционированию.

Методы исследования. Для решения задачи выбрана модель шестиуровневого графа стратегического планирования, который предлагается ЛПР для использования в целях оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня к работе. В основе иерархии лежит реализация планов по обслуживанию, ремонту и замене оборудования. С помощью метода последовательных приращений смоделированы проверочные мероприятия и восстанавливающие процедуры. Предложены две задачи математического программирования — линейная и нелинейная. В первом случае получена новая форма целевой функции с учетом максимальной эффективности деятельности по выполнению планов. В нелинейной постановке в разных формах рассмотрена функция поиска критерия для оценки максимальной эффективности. Оптимальные решения задач представляют собой вывод об использовании некоторого ресурса для одного определенного мероприятия.

Результаты исследования. Сделан вывод о целесообразности использования всего ресурса для конкретного мероприятия. При решении задачи оптимизации в нелинейной постановке отмечена динамичность параметров вектора плановых работ по приведению источников информации первого уровня АСПВБ в требуемое состояние, а также вектора интенсивности проведения работ. В итоге предложена формула интегральной готовности к функционированию оборудования АСПВБ для определенного количества восстанавливающих мероприятий.

Заключение. Получен метод оценки эффективности восстанавливающих мероприятий для АСПВБ с учетом ограниченного особыми условиями ресурса. Применение метода позволяет дежурным сменам объекта ТЭК оперативно реагировать на предпожарные ситуации.

Ключевые слова: автоматизация; пожарная безопасность; автоматизированные системы управления технологическими процессами; автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности; топливно-энергетический комплекс; интегральный показатель; анализ; иерархия; состояние готовности; стратегическое планирование; значимость; пожары; взрывы.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю. Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 35–46. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.35-46.

✉ Самарин Илья Вадимович, e-mail: ivs@gubkin.ru

Введение

Объекты топливно-энергетического комплекса (ТЭК) являются постоянным источником угрозы безопасности, в том числе пожарной, окружающей среды. В связи с этим немаловажной задачей является прогнозирование готовности пожарной техники к выполнению своих функций [1]. Однако, обладая стратегической значимостью, предприятия топливной промышленности нуждаются в предварительном планировании и фактическом контроле устойчивого и безопасного функционирования [2, 3]. Крайне важно иметь возможность предупредить и вовремя пред-

отвратить возникновение пожаровзрывоопасной ситуации на объекте ТЭК любого масштаба. Довольно непростую задачу представляет определение объема мониторинга систем безопасности и противопожарной защиты на таких объектах. Согласно [4] определение этого объема необходимо проводить на основе экспертных оценок сотрудников, участвующих в работе данных систем. При наличии ограничений на получение информации оценки могут быть выполнены некорректно. В качестве примера процесса получения подобных оценок можно привести подробный анализ данных [5], полученных от

экспертов-сотрудников различных уровней, работающих на пожароопасных участках объектов нефтегазовой отрасли. Лицам, принимающим решения (ЛПР) на объектах ТЭК, необходима оперативно (в реальном режиме времени) подтверждаемая информация о состоянии готовности к работе и надежности средств и систем пожарной автоматики, газовых пожарных извещателей [6], датчиков состояния среды и других средств оповещения о пожарах или предпожарных режимах [7, 8]. От полноты информации во многом зависит скорость принятия ЛПР верного с точки зрения пожарной безопасности (ПБ) решения [9]. Все указанные источники информации для ЛПР в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) являются информаторами первого уровня. Как правило, на объектах ТЭК в АСУТП встроены автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ). Принципы их работы основаны на своевременном информировании ЛПР о возможных опасных ситуациях [10]. Для выяснения состояния готовности к функционированию оборудования АСПВБ первого уровня необходимо планирование мероприятий по его приведению в состояние готовности в опасных ситуациях. Приоритетной задачей для ЛПР в этом случае является оценка с помощью средств контроля или встроенного специального программного обеспечения АСПВБ [11] степени выполнения тех или иных компонентов указанных планов и возможности проведения и важности отдельных из включенных в них мероприятий. От успешности подобных оценок зависит количество предотвращенных пожаров и взрывов на объектах ТЭК [12].

Проведение на объекте ТЭК профилактических работ ремонтными бригадами для выявления требуемого ремонта или замены оборудования АСПВБ является приоритетной задачей и стратегической целью при оценке степени его готовности к работе. Разнородность такого оборудования и деятельности по его обслуживанию, ремонту и замене имеет второстепенное значение. Основным критерием оценки служит возможное влияние того или иного элемента оборудования информирования АСПВБ первого уровня на стратегическую цель ЛПР по обеспечению ПБ на объекте ТЭК.

Сегодня на многих предприятиях ТЭК используются системы контроля и обеспечения пожарной безопасности зарубежного производства [13, 14]. В [15] утверждается, что 80 % этого рынка занято зарубежными производителями. По объему данной продукции лидирует ЧП «Аргон» (36 %), за ним следуют Beijing PT Security Technology (33 %), Wizmart Technology (11 %). В стоимостном выражении доли, занимаемые производителями на рынке данной продукции, распределяются следующим образом: Bosch — 11 %, Hekatron — 9 %, Honeywell — 8 % [15].

В последнее время из-за санкций на объекты ТЭК возникают трудности с поставками импортного оборудования для АСПВБ, предназначенного для информирования ЛПР, для модернизации АСУТП объектов инфраструктуры. Так, например, при проектировании модернизации одного из объектов ТЭК согласно [16] износ изначально поставленного и незамененного технологического оборудования составил 80–100 %. Отчасти это обусловлено тем, что процесс замены осложняется из-за существенных ограничений на требуемые поставки. В связи с этим следует заметить, что выявление наиболее важных элементов оборудования приобретает колоссальное значение. Условия функционирования объектов ТЭК, при которых существуют ограничения на поставку, своевременную замену и поверку оборудования, будем называть особыми. В случае невозможности проведения отдельных запланированных мероприятий целесообразно разрабатывать новые модели обеспечения ПБ на объектах ТЭК, меняя, например, характер передачи информации внутри объекта или точки монтажа датчиков и извещателей. Хотя последнее представляется не слишком целесообразным, так как может привести к нарушению общей схемы оповещения при пожарах и взрывах.

Целью настоящей статьи является получение обоснованного инструмента оценки эффективности плановых мероприятий по восстановлению оборудования нижнего уровня АСПВБ. Для ее достижения авторами поставлена задача анализа и выявления готовности к работе оборудования по обеспечению пожаровзрывобезопасности автоматизированным образом на объектах ТЭК. Моделирование восстанавливающих мероприятий выполняется методом последовательных приращений при рассмотрении двух задач математического программирования — линейной и нелинейной. Описано получение их оптимальных решений, заключающееся в рекомендации использовать некоторый ресурс для одного определенного мероприятия.

Методы исследования

Для моделирования степени важности отдельных мероприятий при оценке готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня применялось стратегическое планирование [17, 18]. Основным правилом, описанным в [17, 18], является граф стратегического планирования, основанный на иерархии целей, задач, направлений, кластеров, мероприятий и т. п. Его анализ при проведении оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня является основным методом, который следует использовать ЛПР для достижения нужной цели.

Рассмотрим аналог указанного графа. Построим на основе иерархии реализации планов по обслу-

живанию, ремонту и замене указанного оборудования аналогичный граф (см. рисунок). Назовем его графом стратегического планирования для оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня объекта ТЭК. Целью ЛПР и показателем качества для всей группы указанных мероприятий будет являться оценка ЛПР готовности к работе оборудования АСПВБ в автоматизированном режиме.

Максимальной готовностью оборудования автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности будет такое его состояние, при котором любая опасная или потенциально опасная ситуация будет устранена до возникновения опасных последствий. Для этого необходимо иметь ресурсы по приведению оборудования информирования АСУТП первого уровня в наилучшее состояние. Проверки и плановые мероприятия по восстанавливающим процедурам для него могут моделироваться по-разному.

Если использовать для этого метод последовательных приращений [19], то можно рассматривать для определения готовности к работе оборудования АСПВБ как минимум две задачи математического программирования. Первая из них — задача линейного программирования с одним ограничением. Основная мысль — найти максимум аддитивной целевой функции $\psi(x_3)$ для параметров готовности, значения которых могут быть определены планами ремонта, обслуживания, восстановления или замены источников информации первого уровня АСПВБ, при ограничении на заданный вид ресурса b в связи с особыми условиями. При этом будет определен общий интегральный показатель готовности для всего искомого оборудования АСПВБ.

В такой постановке задача может рассматриваться как

$$\psi(x_3) = \max_{\psi} \psi(x) = \max_{\Sigma} \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x_i \right\}; \quad (1)$$

$$g(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i, \quad (2)$$

где x_3 — значение вектора, при котором целевая функция $\psi(x)$ принимает максимальное значение; x — вектор независимых параметров (плановых работ по приведению источников информации первого уровня АСПВБ в “правильное” состояние);

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}; \quad (3)$$

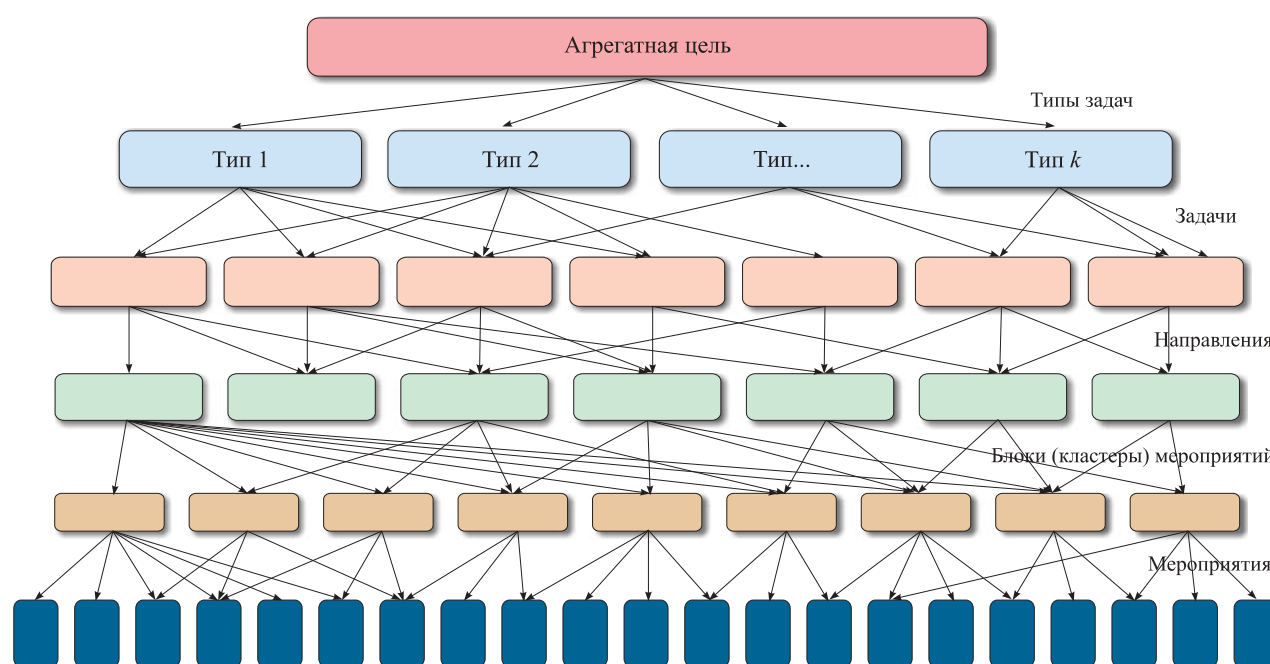
n — число единиц необходимого оборудования; $\alpha_i \geq 0 \ \forall i = 1, \dots, n$ — коэффициенты важности элементов в цели; определяются в соответствии с построенной решающей матрицей для выбранной в графе стратегического планирования иерархии [20];

$\beta_i > 0 \ \forall i = 1, \dots, n$ — коэффициенты интенсивности использования ресурсов при проведении работ в соответствии с планами;

x_i — некоторое значение независимого параметра (плановых работ по приведению источников информации первого уровня АСПВБ в “правильное” состояние), соответствующее определенному числу единиц оборудования;

$$g(x) \leq b, \ b > 0; \quad (4)$$

b — предельно допустимая величина некоторого ресурса с учетом особых условий;



Шестиуровневый граф стратегического планирования для оценки готовности оборудования АСПВБ первого уровня объекта ТЭК

n — общее число мероприятий, проводимых согласно планам (в общем случае u и n не равны, так как в соответствии с графом стратегического планирования для его уровней, которые выше нижнего, также следует предусмотреть значимость; не равны они будут и в том случае, когда запланированные мероприятия будут проведены не в полной мере).

При этом

$$\sum_{i=1}^u \alpha_i = 1; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1. \quad (6)$$

Условие (2) регулирует загрузку персонала, наличие финансовых или материальных средств с учетом (6) в соответствии с деревом мероприятий, описываемым в планах. При этом считается, что при их реализации ЛПР стремится к достижению поставленной на определенном направлении агрегатной цели (см. рисунок), в данном случае максимальной готовности оборудования АСПВБ к работе в особых условиях.

Максимальная эффективность деятельности в соответствии с планами при решении такой задачи (формулы (1)–(4)) реализуется при равенстве левой и правой частей в (4). В противном случае достижение максимума $\psi(x)$ оставляет остаток ресурса, что дает возможность получать новые приращения любой компоненты x_i , для которой $\alpha_i > 0$, и приращение целевой функции (1), что не укладывается в изначальную формулировку задачи.

Если получить из условия (2) x_i и учесть, что для некоторого k отношение α_k/β_k примет наибольшее значение по сравнению с остальными значениями α_i/β_i , то целевая функция $\psi(x)$ и условие приобретут такой вид [21]:

$$\psi(x) = \frac{\alpha_k}{\beta_k} b + \sum_{i=1}^u \beta_i \left\{ \frac{\alpha_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_k}{\beta_k} \right\} x_i; \quad (7)$$

$$\beta_i \left\{ \frac{\alpha_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_k}{\beta_k} \right\} \leq 0. \quad (8)$$

В этом случае решается задача линейного программирования на безусловный экстремум, потому что для всех $i \neq k$ значения x_i должны быть равны нулю. Это следует из нового условия (8), в соответствии с которым при всех $x_i > 0 \forall i \neq k$ значения $\psi(x)$ будут меньше максимального.

Из этого вывода следует, что ресурс b следует направлять на проведение только одного мероприятия, т. е. на увеличение одного параметра вектора (3). Это справедливо для любых, а не только неотрицательных значений α_i в случае наличия среди них хотя бы одного положительного.

Во втором варианте задачи, когда функция $\psi(x)$ нелинейна и представляет собой вогнутую функцию, а ограничение линейно, функцию поиска критерия для оценки максимальной эффективности можно записать в виде [22]:

$$\psi(x_s) = \max_x \psi(x) \quad (9)$$

с теми же ограничениями (см. формулы (2) и (4)):

$$\begin{cases} g(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i; \\ g(x) \leq b, b > 0. \end{cases} \quad (10)$$

Решение этой задачи, так же как и предыдущей, находится на границе, определяемой ограничениями (10). Обычно задачи данного класса принято решать методом Лагранжа [23], но в данном случае уместно прибегнуть к другому решению поставленной задачи.

Предположим, что, разбив ресурс b на части Δb , соответствующие его использованию в отдельных мероприятиях, мы сможем распределить их последовательно. При этом время использования каждой доли ресурса не будет иметь принципиального значения, как и порядок использования указанных составных частей. Тогда на небольших участках, соответствующих Δb , задачу в нелинейной постановке можно решать как линейную.

По аналогии с ней нам необходимо найти такое значение $\psi(x)$, для которого частная производная по одному из параметров (см. формулу (3)) максимальна с учетом умножения на коэффициент $1/\beta_k$. Тогда, выбрав мероприятие x_k , использующее его ресурс так, что

$$\exists k, \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} = \max_{x_i} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i}, \quad (11)$$

функцию (9) следует переписать в виде

$$\psi(x) = \psi \left(x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, \frac{b}{\beta_k} - \sum_{i \neq k} \frac{\beta_i}{\beta_k} \cdot x_{k+1}, \dots, x_n \right). \quad (12)$$

Следовательно, приращение функции $\psi(x)$ необходимо определить так:

$$d\psi(x) = \frac{\Delta b}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} - \frac{\beta_i}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} \right\} dx_i, \quad (13)$$

или

$$d\psi(x) = \frac{\Delta b}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} - \sum_{i=1}^n \beta_i \left\{ \beta_k^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} - \beta_k^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} \right\} dx_i, \quad (14)$$

$$\text{где} \quad k = \text{Arg} \left\{ \max_i \left(\beta_i^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} \right) \right\}. \quad (15)$$

Исходя из того что все величины в (13) и (14) под знаком суммы не положительны, при распределении Δb можем считать, как и в предыдущей постановке, что оптимальное решение в этом случае состоит в использовании всего ресурса Δb только для одного мероприятия k .

Анализ результатов

Последовательно проводя решение данной задачи для различных Δb , можно видеть, что в каждом случае значение $\max_x \psi(x)$ будет найдено для различных мероприятий. А вывод о необходимости использования всего ресурса Δb на k -е мероприятие говорит лишь о том, что не следует распылять его между несколькими мероприятиями.

Необходимо заметить, что в случае решения задачи определения готовности оборудования АСПВБ в данной постановке восстановительные мероприятия, предусмотренные планами, будут проводиться так, что и сам вектор (3) будет меняться, и в нем будут меняться число и характер мероприятий. Это связано с тем, что для каждого из x_k будет найдено свое мероприятие, а для остальных расчет будет выполняться без него на следующем шаге распределения Δb . В этом случае для каждого шага при использовании части ресурса Δb следует предусмотреть свой вектор мероприятий x^t :

$$x^t = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\}, \quad (16)$$

а также и свой вектор интенсивности их проведения:

$$\beta^t = \{\beta_1^t, \beta_2^t, \dots, \beta_n^t\}. \quad (17)$$

Тогда, принимая, что всего будет распределено T порций ресурса, где

$$T = b/\Delta b, \quad (18)$$

можно записать следующую формулу интегральной готовности оборудования АСПВБ для T восстановительных мероприятий, для которых возможно использование ресурса b , причем его части Δb хватит для полного проведения указанных мероприятий:

$$d\psi^t(x_3) = \Delta b \sum_{t=1}^T (\beta_k^t)^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k^t}, \quad (19)$$

где t — номер шага;

k^t — индекс мероприятия из плана, для которого целевая функция на t -м шаге принимает максимальное значение.

Заключение

Задача, приведенная в двух различных постановках и с одним ограничением, показывает, как, используя последовательные приращения значения ресурса, ограниченного за счет особых условий, можно оценить эффективность запланированных мероприятий по восстановлению оборудования АСПВБ. При этом планирование мероприятий и оценка их значимости выполняются с учетом иерархии, получаемой в результате стратегического планирования.

Приведенные в настоящей статье преобразования могут быть легко применены для случая разделения данного оборудования на классы и подклассы, а также при изменении характера ограничений или использовании нескольких ограничений. Такое масштабирование позволит создать удобный алгоритм поддержки управления ЛПП в АСПВБ, что в свою очередь при наличии особых условий позволит поддерживать ПБ объекта ТЭК на должном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сатин А. П., Ле Тхань Бинь, Прус Ю. В. Прогнозирование готовности пожарной техники на основе марковской модели поломок и восстановления // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 5(45). — 11 с.
2. Dawoud S. M. Fire protection in the petroleum industry // SPE Annual Technical Conference and Exhibition (11–14 November, 2007, Anaheim, California, USA). DOI: 10.2118/110521-ms.
3. Winmag Plus — основа интеграции для систем безопасности в нефтегазовой отрасли / АО “Хоневелл” // Алгоритм безопасности. — 2018. — № 3. — С. 8–9.
4. Steblev Yu. I., Susarev S. V., Bykov D. E. The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects // Russian Journal of Non-destructive Testing. — 2015. — Vol. 51, No. 4. — P. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.
5. Зуев Н. Ю., Хабибуллин Р. Ш., Шихалев Д. В., Гудин С. В. Информационная технология экспертного опроса специалистов нефтегазовой отрасли для предотвращения пожаров на объектах защиты // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 17–25. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.17-25.
6. Aleixandre M., Gerboles M. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas // Chemical Engineering Transactions. — 2012. — Vol. 30. — P. 169–174. DOI: 10.3303/cet1230029.

7. Bogue R. Sensors for fire detection // *Sensor Review*. — 2013. — Vol. 33, No. 2. — P. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
8. Milov V. R., Suslov B. A., Kryukov O. V. Intellectual management decision support in gas industry // *Automation and Remote Control*. — 2011. — Vol. 72, No. 5. — P. 1095–1101. DOI: 10.1134/S0005117911050183.
9. Hammond J. S., Keeney R. L., Raiffa H. *Smart choices: A practical guide to making better life decisions*. — Boston, MA : Harvard Business School Press, 2002. — 256 p.
10. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
11. Бутузов С. Ю., Крючков А. В., Самарин И. В. Метод количественного расчета совокупного фактора влияния персонала на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 60–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.60-66.
12. Nolan D. P. *Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities*. — 3rd ed. — Norwich, NY : William Andrew, 2010. — 496 p.
13. IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry. — May 2015. — Vol. 15. — 167 p. URL: <http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf> (дата обращения: 24.11.2018).
14. Construction health and safety manual: oil refineries and petrochemical plants. URL: https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf (дата обращения: 24.11.2018).
15. How Russia has overhauled its fire protection sector. URL: <http://www.securika-moscow.ru/en-GB/press/news/How-Russia-overhauled-fire-protection-sector.aspx> (дата обращения: 24.11.2018).
16. Проектирование НПЗ. URL: <http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/> (дата обращения: 27.11.2018).
17. Самарин И. В. Формализация задачи обоснования среднесрочного плана деятельности для построения автоматизированной системы управления стратегического планирования на предприятии // *Инновации и инвестиции*. — 2014. — № 4. — С. 177–183.
18. Самарин И. В., Фомин А. Н. Стратегическое планирование на предприятии: применение метода анализа иерархий для стратегического мониторинга деятельности // *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. — 2014. — № 5. — С. 84–89. DOI: 10.21686/2500-3925-2014-5-84-89.
19. Антонов А. В. *Системный анализ : учеб. для вузов*. — М. : Высшая школа, 2004. — 454 с.
20. Самарин И. В. АСУ стратегического планирования на предприятии: уточнение методологических и инструментальных основ схемы планирования // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2017. — № 2. — С. 31–44.
21. Зорич В. А. *Математический анализ*. — В 2 ч. — Изд. 8-е, испр. — М. : МЦНМО, 2017. — Ч. I. — 576 с.
22. Базара М., Шетти К. *Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / Пер. с англ.* — М. : Мир, 1982. — 583 с.
23. Самарский А. А., Гулин А. В. *Численные методы*. — М. : Наука, 1989. — 432 с.

Материал поступил в редакцию 8 января 2019 г.

Информация об авторах

ТОПОЛЬСКИЙ Николай Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ntopolskii@mail.ru

САМАРИН Илья Вадимович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ivs@gubkin.ru

СТРОГОНОВ Андрей Юрьевич, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

Operating readiness evaluation method of first level information distribution AFES equipment at facilities of fuel and energy complex in special conditions

© N. G. Topolskiy¹, I. V. Samarin² (✉), A. Yu. Strogonov²

¹ State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

² Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The necessity of obtaining by decision makers (DM) of complete information on first level information distribution equipment operating readiness of Automated Process Control Systems (APCS) at any time. Data on the pre-fire condition at a facility of the fuel and energy complex (FEC) is transmitted using the control elements of Automated Fire and Explosion Safety Systems (AFES) as a part of the APCS. The connection of determining the state of readiness of the AFES equipment with the degree of preventive maintenance is shown. The aim of the study is to obtain a scientifically based tool for determining AFES equipment operating readiness.

Research methods. In order to solve the problem, there was selected a six-level graph of strategic planning model that is offered to a DM for use while evaluating the first level information distribution AFES equipment operating readiness. The hierarchy is based on the implementation of plans for the maintenance, repair and replacement of equipment. There were simulated verification measures and remedial procedures by using the method of successive increments. Two problems of mathematical programming are proposed — linear and nonlinear one. In the first case, a new form of the objective function was obtained, taking into account the maximum efficiency of plans implementation. In the nonlinear formulation in different forms, the criterion search function is considered to estimate the maximum efficiency. Optimal task solving is a conclusion about the use of a certain resource for one specific event.

Study results. The conclusion was made about the feasibility of using the entire resource for a specific event. When solving the optimization problem in the nonlinear formulation, the dynamism of the parameters of the planned work vector to bring the first level AFES information sources in the required state, as well as the work performance intensity vector, is noted. As a result, there was proposed an AFES equipment integral operating readiness formula for a certain number of remedial measures.

Conclusion. A method for evaluating the effectiveness of remedial measures for AFES, taking into account the resource limited by special conditions, is obtained. The use of the method gives an opportunity for on-duty shifts of the fuel and energy complex facility to promptly respond to pre-fire situations.

Keywords: automation; fire safety; automated process control systems; fire and explosion safety systems; fuel and energy complex; integral index; analysis; hierarchy; readiness status; strategic planning; significance; fires; explosions.

For citation: N. G. Topolskiy, I. V. Samarin, A. Yu. Strogonov. Operating readiness evaluation method of first level information distribution AFES equipment at facilities of fuel and energy complex in special conditions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 35–46. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.35-46.

✉ Ilya Vadimovich Samarin, e-mail: ivs@gubkin.ru

Introduction

The facilities of the fuel and energy complex (FEC) are a constant source of security threat, including fire, the environmental safety. In this regard, an important task is to predict the readiness of fire equipment to perform its functions [1]. However, having strategic significance, fuel industry enterprises need preliminary planning and actual control of sustainable and safe operation [2, 3]. It is extremely important to be able to anticipate and timely prevent the occurrence of a fire and explosion hazard situation at a fuel and energy complex of any scale. A rather difficult task is to determine the scope of monitoring of security systems and fire protection at such facilities. According to [4], the definition of this

volume should be carried out on the basis of expert evaluations of employees participating in the operation of these systems. If there are restrictions on obtaining information, estimates may not be performed correctly. As an example of the process of obtaining such evaluations, one can cite a detailed data analysis [5] received from expert staff at various levels working in fire hazardous areas of oil and gas facilities. Decision makers (DM) at the fuel and energy facilities need prompt (real-time) confirmed information on the state of readiness for operation and reliability of fire automatics systems, gas fire detectors [6], environmental status sensors and other fire alarm systems or pre-fire devices [7, 8]. The decision making time required by DM to

take the right decision in terms of fire safety (FS) [9] largely depends on the completeness of the information. All of these information sources for decision makers in Automated Process Control Systems (APCS) are the first level information distributors. As a rule, Automated Fire and Explosion Safety Systems (AFES) are built into the control system facilities at the fuel and energy complex facilities. The principles of their work are based on timely informing the decision maker of possible dangerous situations [10]. To find out the operating readiness state of first level AFES equipment, it is necessary to plan activities for bringing it in a ready state in dangerous situations. In this case, the priority task for the decision-maker is to evaluate the degree of implementation of certain components of these plans and the possibility of carrying out and the importance of some of the activities included in them with the help of monitoring tools or special embedded AFES software [11]. The number of fires and explosions prevented at fuel and energy facilities depends on the success of such evaluations [12].

Preventive maintenance by the repair and maintenance team at the fuel and energy complex to identify the required repair or replacement of AFES equipment is a priority and strategic goal in evaluating its operating readiness. The heterogeneity of such equipment and its maintenance, repair and replacement activities is of secondary importance. The main evaluation criterion is the possible influence of one or another unit of first level information distribution AFES equipment on the strategic goal of decision makers to provide fire safety at a facility of the fuel and energy complex.

Today, many enterprises of the fuel and energy complex use control systems and ensure fire safety of foreign production [13, 14]. In [15] it is claimed that 80 % of this market is occupied by foreign manufacturers. In terms of the volume of this product, PE Arton takes the leading position (36 %), followed by Beijing PT Security Technology (33 %) and Wizmart Technology (11 %). In terms of value, the shares occupied by manufacturers on the market for this product are distributed as follows: Bosch — 11 %, Hekatron — 9 %, Honeywell — 8 % [15]. Recently, due to sanctions on fuel and energy facilities, difficulties have arisen with the supply of imported equipment for AFES intended for sending information to decision makers, as well as for upgrading the process control system at infrastructure facilities. Thus, for example, when designing the modernization of a fuel and energy complex facility according to [16], the wear of the originally supplied and non-replaced process equipment was about 80–100 %. This is partially due to the fact that the replacement process is complicated due to significant restrictions on the required supplies. In this regard, it should be noted that the identification of the most important elements of the equipment is of paramount importance.

The conditions of operation of fuel and energy facilities, under which there are restrictions on the supply, timely replacement and verification of equipment, will be called special ones. If it is impossible to conduct separate planned activities, it is advisable to develop new models for providing fire safety at the fuel and energy complex facilities, changing, for example, the nature of information transfer inside the facility or the mounting points of sensors and detectors. Although the latter measure does not seem to be very appropriate, as it may cause violation of the general fire and explosion alarm scheme.

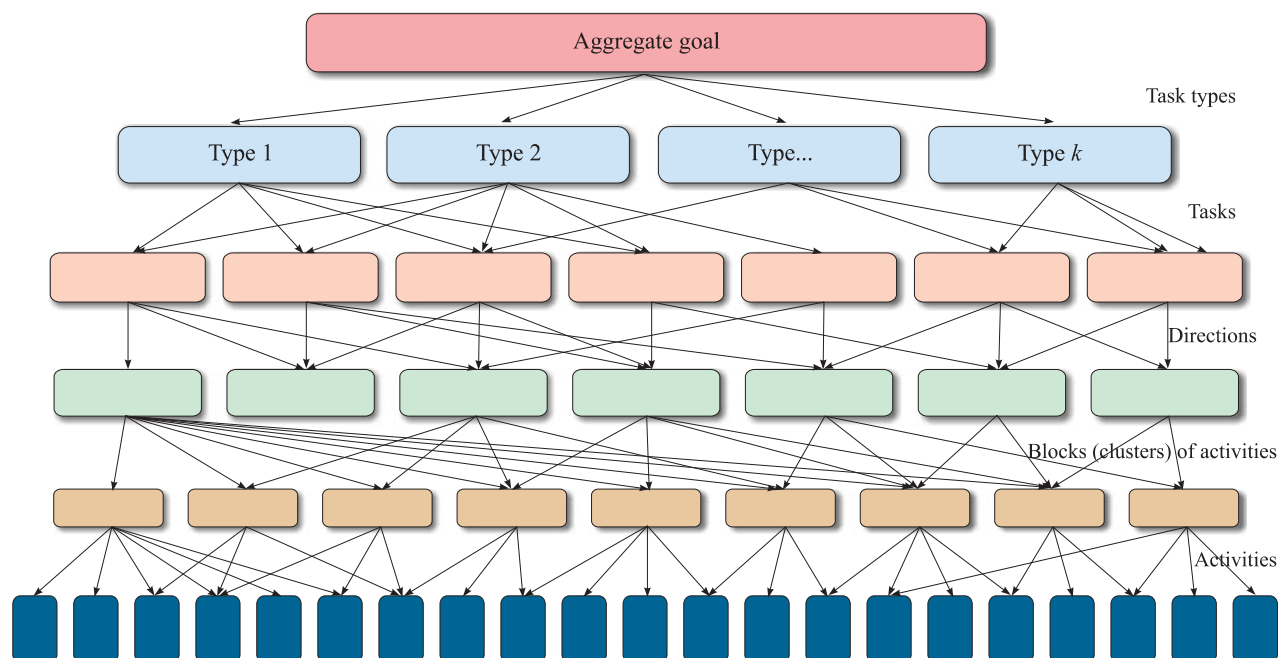
The purpose of this article is to obtain a reasonable tool for evaluating the effectiveness of planned measures for the restoration of low-level AFES equipment. To achieve it, the authors have set the task of analyzing and identifying the equipment operating readiness for ensuring fire and explosion safety in an automated way at fuel and energy facilities. Simulation of remedial measures is performed by the method of successive increments when considering two problems of mathematical programming — linear and nonlinear one. Obtaining their optimal solutions is described, which consists in recommending the use of a certain resource for one specific event.

Research methods

In order to simulate the importance of individual measures, strategic planning was used in evaluating first-level AFES equipment operating readiness [17, 18]. The basic rule described in [17, 18] is a graph of strategic planning based on a hierarchy of goals, objectives, directions, clusters, events, etc. Its analysis in conducting the evaluation of first level AFES equipment operating readiness is the main method that should be used by a DM to achieve the desired goal.

Let us consider an analogue of the specified graph. Let us construct a similar graph based on the hierarchy of the implementation of the plans for the maintenance, repair and replacement of the specified equipment (see Figure). Let us call it a graph of strategic planning for evaluating the first level AFES equipment operating readiness of a fuel and energy complex facility. The goal of the DM and the quality indicator for the entire group of these activities will be the DM's evaluation of AFES equipment operating readiness in an automated mode.

The maximum level of AFES equipment operating readiness will be its state that will let eliminate any dangerous or potentially dangerous situation before the onset of dangerous consequences. In order to do this, it is necessary to have the resources to bring the first-level information distribution AFES equipment in the best condition. Inspections and planned measures for the remedial procedures as for the equipment can be simulated differently.



Six-level graph of strategic planning for evaluating the first level AFES equipment operating readiness of a fuel and energy complex facility

If we use the method of successive increments in order to do this [19], then we can consider at least two problems of mathematical programming to determine the AFES equipment operating readiness. The first one is a linear programming problem with one constraint. The main idea is to find the maximum of the additive objective function $\psi(x_e)$ for readiness parameters, the values of which can be determined by plans for the repair, maintenance, restoration or replacement of information sources of first level AFES, with a limit on the specified resource type b due to special conditions. At the same time, the overall integral readiness index for all the required AFES equipment will be determined.

In this formulation the problem can be considered as

$$\psi(x_e) = \max_{\psi} \psi(x) = \max_{\Sigma} \left\{ \sum_{i=1}^u \alpha_i \cdot x_i \right\}; \quad (1)$$

$$g(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i, \quad (2)$$

where x_e is a vector value at which the objective function $\psi(x)$ takes the maximum value;

x — vector of independent parameters (of planned work to bring information sources of first level AFES in the “correct” state);

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_u\}; \quad (3)$$

u — the number of units of required equipment;
 $\alpha_i \geq 0 \forall i = 1, \dots, u$ — coefficients of elements importance in the goal; are determined in accordance with the constructed decision matrix for the hierarchy selected in the graph of strategic planning [20];

$\beta_i > 0 \forall i = 1, \dots, n$ — resource utilization factors for performing work in accordance with plans;
 x_i — a certain value of an independent parameter (of planned work to bring information sources of first level AFES equipment to “correct” state) corresponding to a certain number of unit of equipment;

$$g(x) \leq b, b > 0; \quad (4)$$

b — the maximum permissible value of a certain resource taking into account special conditions;
 n — the total number of activities carried out according to the plans (in general u and n are not equal, as in accordance with the graph of strategic planning for its levels, which are higher than the lower one, we should also take into account the significance; they will not be equal even if the planned activities will not be fully implemented).

At the same time

$$\sum_{i=1}^u \alpha_i = 1; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = 1. \quad (6)$$

Condition (2) regulates the loading of personnel, the availability of financial or material resources taking into account (6) in accordance with the action tree described in the plans. At the same time, it is considered that during their implementation, the DM seeks to achieve the aggregate goal set in a certain direction (see Figure), in this case, this goal is the maximum readiness of AFES equipment to work in special conditions.

The maximum efficiency of activities in accordance with the plans in solving this problem (formulas (1)–(4)) is realized with equality of the left and right parts in (4). Otherwise, reaching a maximum $\psi(x)$ leaves the rest of the resource, which makes it possible to get new increments of any component x_i , for which $\alpha_i > 0$, and the increment of the objective function (1), that does not fit into the original formulation of the problem.

If it is obtained from the condition (2) x_i and consider that for some k a ratio α_k/β_k will take the greatest value in comparison with other values α_i/β_i , then the objective function $\psi(x)$ and the condition will take this form [21]:

$$\psi(x) = \frac{\alpha_k}{\beta_k} b + \sum_{i=1}^n \beta_i \left\{ \frac{\alpha_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_k}{\beta_k} \right\} x_i; \quad (7)$$

$$\beta_i \left\{ \frac{\alpha_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_k}{\beta_k} \right\} \leq 0. \quad (8)$$

In this case, the linear programming problem is solved for an unconditional extremum, because for all $i \neq k$ the values x_i must be zero. This follows from the new condition (8), according to which at $x_i > 0 \forall i \neq k$ the value $\psi(x)$ will be less than the maximum.

It follows from this conclusion that the resource b should be directed to conduct only one event, i. e. to increase one parameter of the vector (3). This is true for any and not only for nonnegative values α_i if there is at least one positive one among them.

In the second variant of the problem, when the function $\psi(x)$ is not linear and is a concave function, and the limitation is linear, the criterion search function for evaluating maximum efficiency can be written as [22]:

$$\psi(x_e) = \max_x \psi(x) \quad (9)$$

with the same limitations (see formulas (2) and (4)):

$$\begin{cases} g(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i; \\ g(x) \leq b, b > 0. \end{cases} \quad (10)$$

The solution to this problem, as well as to the previous one, is on the boundary determined by the restrictions (10). The class of these problems is usually solved by the Lagrange method [23], but in this case it is appropriate to resort to another solution of the problem.

Let us suppose that by dividing a resource b into parts Δb , appropriate to its use in individual events, we will be able to distribute them consistently. At the same time the use of each share of the resource will not be of fundamental importance, as well as the use of these components. Then for small sections corresponding to Δb , the problem in the nonlinear formulation can be solved as a linear one.

By analogy with it, we need to find such a value $\psi(x)$, for which the partial derivative with respect to

one of the parameters (see formula (3)) is maximum taking into account multiplication by the coefficient $1/\beta_k$. Then, after choosing an event x_k , using the resource in such a way that

$$\exists k, \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} = \max_{x_i} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i}, \quad (11)$$

function (9) should be rewritten as

$$\psi(x) = \psi \left(x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, \frac{b}{\beta_k} - \sum_{i \neq k} \frac{\beta_i}{\beta_k} \cdot x_{k+1}, \dots, x_n \right). \quad (12)$$

Therefore, the function increment $\psi(x)$ should be defined as:

$$\begin{aligned} d\psi(x) &= \frac{\Delta b}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} - \\ &- \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} - \frac{\beta_i}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} \right\} dx_i, \end{aligned} \quad (13)$$

or

$$\begin{aligned} d\psi(x) &= \frac{\Delta b}{\beta_k} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} - \\ &- \sum_{i=1}^n \beta_i \left\{ \beta_k^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} - \beta_k^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k} \right\} dx_i, \end{aligned} \quad (14)$$

where

$$k = \text{Arg} \left\{ \max_i \left(\beta_i^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_i} \right) \right\}. \quad (15)$$

Assuming that all values in (13) and (14) under index of summation are not positive, the distribution Δb we can assume, as in the previous formulation, that the optimal solution in this case is to use the entire resource Δb for one event only k .

Results analysis

Consistently pursuing the solution of this problem for various Δb , it can be seen that in each case the value $\max_x \psi(x)$ will be found for various events. And the conclusion about the need to use the entire resource Δb for k event says only that it should not be spread between several events.

It should be noted that in the case of solving the problem of determining the AFES equipment readiness in this formulation, the remedial measures provided for by the plans will be carried out in such a way that the vector itself (3) will change and the number and the nature of the measures will change as well. This is due to the fact that for each of x_k will be its own event, and for the rest ones, the calculation will be performed without it at the next distribution step Δb . In this case, for each step when using a part of the resource Δb one should provide his/her own vector of events x^t :

$$x^t = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\}, \quad (16)$$

as well as his/her own intensity vector of their conduction:

$$\beta^t = \{\beta_1^t, \beta_2^t, \dots, \beta_n^t\}. \quad (17)$$

Then, assuming that everything will be distributed T resource portions, where

$$T = b/\Delta b, \quad (18)$$

We can write the following formula for the integral AFES equipment readiness for T remedial measures for which resource b is possible, and its parts Δb will be enough to complete these activities:

$$d\psi^t(x_e) = \Delta b \sum_{t=1}^T (\beta_k^t)^{-1} \frac{\partial \psi(x)}{\partial x_k^t}, \quad (19)$$

where t — step number;

k^t — event index from the plan for which the objective function during the t step takes the maximum value.

Summary

The problem, given in two different productions and with one constraint, shows how, using successive increments the value of the resource, limited by special conditions, one can evaluate the effectiveness of the planned measures for the restoration of the AFES equipment. At the same time, the planning of activities and the evaluation of their significance are carried out taking into account the hierarchy obtained as a result of strategic planning.

The transformations, which are given in this article can be easily applied to the case of dividing this equipment into classes and subclasses, as well as while changing the nature of the restrictions or using several restrictions. Such scaling will allow creating a convenient algorithm for supporting the management of decision makers while dealing with AFES system, which, in its turn, under special conditions, will allow ensuring proper level of fire safety at a facility of fuel and energy complex.

REFERENCES

1. A. P. Satin, Thanh Bin Le, Yu. V. Prus. Forecasting of readiness of fire equipment based on the markov model breakdowns and recovery. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2012, no. 5(45). 11 p. (in Russian).
2. S. M. Dawoud. Fire protection in the petroleum industry. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition (11–14 November, 2007, Anaheim, California, USA)*. DOI: 10.2118/110521-ms.
3. Winmag Plus is the basis of integration for security systems in the oil and gas industry. *Algoritm bezopasnosti / Security Algorithm*, 2018, no. 3, pp. 8–9 (in Russian).
4. Yu. I. Steblev, S. V. Susarev, D. E. Bykov. The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects. *Russian Journal of Non-destructive Testing*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.
5. N. Yu. Zuev, R. Sh. Khabibulin, D. V. Shikhalev, S. V. Gudin. Information technology of expert poll observation of oil and gas industrial specialists for prevention of fire on protection objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 17–25 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.17-25 (in Russian).
6. M. Aleixandre, M. Gerboles. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas. *Chemical Engineering Transactions*, 2012, vol. 30, pp. 169–174. DOI: 10.3303/cet1230029.
7. R. Bogue. Sensors for fire detection. *Sensor Review*, 2013, vol. 33, no. 2, pp. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
8. V. R. Milov, B. A. Suslov, O. V. Kryukov. Intellectual management decision support in gas industry. *Automation and Remote Control*, 2011, vol. 72, no. 5, pp. 1095–1101. DOI: 10.1134/S0005117911050183.
9. J. S. Hammond, R. L. Keeney, H. Raiffa. *Smart choices: A practical guide to making better life decisions*. Boston, MA, Harvard Business School Press, 2002. 256 p.
10. A. A. Abrosimov, N. G. Topolskiy, A. V. Fedorov. *Avtomatizirovannyye systemy pozharovzryvbezopasnosti neftepererabatyvayushchikh proizvodstv* [Computer-aided fire and explosion safety systems of petroleum refineries]. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p. (in Russian).
11. S. Yu. Butuzov, A. V. Kryuchkov, I. V. Samarin. Method of quantitative calculation of the total factor impact of personnel stability special software of the automated systems of fire and explosion. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 60–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.60-66.
12. D. P. Nolan. *Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities*. 3rd ed. Norwich, NY, William Andrew, 2010. 496 p.

13. *IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry*. May 2015, vol. 15. 167 p. Available at: <http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf> (Accessed 24 November 2018).
14. *Construction health and safety manual: oil refineries and petrochemical plants*. Available at: https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf (Accessed 24 November 2018).
15. *How Russia has overhauled its fire protection sector*. Available at: <http://www.securika-moscow.ru/en-GB/press/news/How-Russia-overhauled-fire-protection-sector.aspx> (Accessed 24 November 2018).
16. *The design of refinery* (in Russian). Available at: <http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/> (Accessed 27 November 2018).
17. I. V. Samarin. Formalization of the problem of the justification of the medium-term action plan to build the automated control system of strategic planning at the enterprise. *Innovatsii i investitsii / Innovation and Investment*, 2014, no. 4, pp. 177–183 (in Russian).
18. I. V. Samarin, A. N. Fomin. Strategic planning at the enterprise: application of a method of the analysis of hierarchies for the strategic activity monitoring. *Statistika i ekonomika / Statistics and Economics*, 2014, no. 5, pp. 84–89 (in Russian). DOI: 10.21686/2500-3925-2014-5-84-89.
19. A. V. Antonov. *Sistemnyy analiz* [System analysis]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 454 p. (in Russian).
20. I. V. Samarin. ACS strategic planning at the enterprise: refinement of methodological and instrumental basics of planning schemes. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki / Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Science*, 2017, no. 2, pp. 31–44 (in Russian).
21. V. A. Zorich. *Matematicheskiy analiz* [Mathematical analysis]. Moscow, MCNMO, 2017, part I, 576 p. (in Russian).
22. M. S. Bazaraa, C. M. Shetty. *Nonlinear programming theory and algorithms*. New York, John Wiley and Sons, 1979 (Russ. ed.: M. S. Bazaraa, C. M. Shetty. *Nelineynoye programmirovaniye. Teoriya i algoritmy*. Moscow, Mir Publ., 1982. 583 p.).
23. A. A. Samarskiy, A. V. Gulin. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 432 p. (in Russian).

Received January 8, 2019

Information about the authors

Nikolay G. TOPOLSKIY, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: ntopolskii@mail.ru

Ilya V. SAMARIN, Candidate of Technical Sciences, Docent, Assistant Professor of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation; e-mail: ivs@gubkin.ru

Andrey Yu. STROGO NOV, Postgraduate Student of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

Технология устранения течи в горизонтально расположенном резервуаре

© А. Н. Денисов¹, С. Н. Шереметьев²

¹ Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

² Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (Россия, 164900, Архангельская обл., г. Новодвинск, ул. Мельникова, 1)

РЕЗЮМЕ

Введение. Одним из самых распространенных способов устранения течи из средств хранения (резервуаров) и технологического оборудования является освобождение резервуаров, в которых обнаружена течь, от хранящихся в них продуктов. К другим способам относится ремонт резервуаров путем заделки трещин и сквозных отверстий с помощью приспособлений, включающих продуктостойкие накладки и вставки (пробки), специальные стяжные болты (заклепки) с шайбами и гайками, а также введение в продукт отрубей. Экспериментальный и аналитический анализ состава операций при применении этих способов показал, что они отличаются большой трудоемкостью, а это увеличивает время, затрачиваемое на устранение течи.

Методы. Сущность технологии заключается в том, что между стандартной надувной подушкой с проушинами в углах и верхними и нижними натяжными ремнями монтируется присоединительный узел, который позволяет использовать на два ремня меньше. В статье приведены фотографии присоединительного узла и основных этапов накладки надувной подушки на железнодорожную цистерну при вертикальном расположении крепящих ремней.

Результаты и их обсуждение. Предлагаемая технология обеспечивает достижение социального, экономического и технического результатов, а именно: повышения безопасности работ по устранению течи; повышения оперативности; сокращения времени ликвидации течи путем ускорения процесса установки надувной подушки; повышения экологической безопасности, благодаря сокращению времени, затрачиваемого на устранение течи; обеспечения более высокого уровня безопасности путем исключения работ на высоте и сокращения времени ликвидации течи; упрощения операций и снижения их трудоемкости за счет сокращения общего количества операций; уменьшения влияния человеческого фактора на время устранения течи.

Вывод. Сравнительный хронометраж установки надувной подушки общепринятыми способами и посредством предлагаемой технологии показал следующее: продолжительность устранения течи известным способом составляет 15–20 мин, а по предлагаемой технологии — 3–5 мин. Для обеспечения искробезопасности присоединительный узел обрезаются.

Ключевые слова: надувная подушка; опыт; присоединительный узел; резервуар; трудоемкость; человеческий фактор.

Для цитирования: Денисов А. Н., Шереметьев С. Н. Технология устранения течи в горизонтально расположенном резервуаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 47–53. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.47-53.

✉ Денисов Алексей Николаевич, e-mail: dan_aleks@mail.ru

Technology of eliminate leak in a horizontally located tank

© A. N. Denisov¹, S. N. Sheremetyev²

¹ State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

² Arkhangelsk Pulp and Paper Mill (Melnikova St., 1, Arkhangelsk Region, Novodvinsk, 164900, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. One of the most common ways to eliminate leaks from storage facilities (tanks) and process equipment is to release the tanks in which a leak is detected from the product stored in it. The following methods are the repair of tanks-sealing cracks and through holes with the help of devices, including product-resistant lining and inserts (plugs), special tie bolts (rivets) with washers and nuts, as well as the introduction of the product bran. Experimental and analytical analysis of the composition of the operations of these methods showed that they have a great complexity, which increases the time to eliminate leaks.

Technology. The essence of the technology lies in the fact that between the standard inflatable pillow with eyelets in the corners and the upper and lower tension belts are attached to the connecting unit. The connecting node

allows the use of two belts less. The article presents photos of the connecting unit and the main stages of the inflatable pillow overlay at the vertical location of the fastening belts on the railway tank.

Results and discussion. The proposed technology ensures the achievement of social, economic and technical results, consisting in: improving the safety of work to eliminate leaks; increasing efficiency; reducing the time of elimination of leaks by accelerating the installation of an inflatable pillow; increasing environmental safety, by reducing the time of elimination of leaks; providing a higher level of security by eliminating the actions at height and reduce the time of elimination of leaks; simplification and reduction of labor intensity by reducing the total number of operations; reducing the impact of human factors on the duration of time to eliminate leaks.

Conclusion. The comparative timing of the installation of an inflatable pillow by conventional methods and through the proposed technology showed the following: the duration of the leak elimination by the known method was 15–20 minutes; the duration of the leak elimination by the considered technology was 3–5 minutes. To ensure intrinsic safety, the connecting node is rubber-coated.

Keywords: inflatable pillow; experience; connecting node; tank; labor intensity; human factor.

For citation: A. N. Denisov, S. N. Sheremetyev. Technology of eliminate leak in a horizontally located tank. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 47–53 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.47-53.

✉ Aleksey Nikolaevich Denisov, e-mail: dan_aleks@mail.ru

Введение

Основной причиной утечек продукта из резервуара для хранения опасных химических веществ или их соединений, “которые при попадании в окружающую среду способны вызвать чрезвычайную ситуацию (ЧС): заразить воздух, воду, почву, привести к отравлению и гибели людей, животных, растений, хранящихся обычно в виде газа или жидкости, является плохое техническое состояние средств хранения и технологического оборудования, вызываемое несвоевременным проведением профилактических ремонтов, нарушением правил эксплуатации и низкой технической культурой обслуживающего персонала” [1–8]. Утечка экологически опасного продукта в процессе накопления представляет большую опасность как для обслуживающего персонала, так и для окружающей среды [9–13]. “Так, при скорости истечения две капли в секунду утечка бензина составляет примерно 3,5 кг/сут. В закрытом помещении склада при отсутствии вентиляции образуется взрывоопасная смесь, объем которой зависит” [1] не только от периода времени до ее устранения, но и от продолжительности процесса устранения течи. Таким образом, для предотвращения возникновения опасной ситуации при возникновении течи резервуара одним из решающих моментов является минимизация времени устранения течи резервуара.

К одним из самых распространенных способов устранения течи относится освобождение резервуаров, в которых обнаружена течь, от хранящихся в них продуктов [14–16]. Однако в этом случае течь, в зависимости от ее расположения, может сохраняться до тех пор, пока емкость практически полностью не освободится от продукта, что отнюдь не способствует решению проблемы сокращения времени ликвидации течи.

Другими способами устранения течи в резервуарах являются заделка трещин и сквозных отверстий

с помощью приспособлений, включающих прдуктостойкие накладки и вставки (пробки), специальные стяжные болты (заклепки) с шайбами и гайками [17–19], а также введение в продукт отрубей, которые потоком жидкости притягиваются к отверстию и закупоривают его под давлением жидкости. В качестве отрубей применяются пластмассовые хлопья размером от 1 до 50 мм [1]. Однако и в этом случае сохраняется проблема сокращения времени устранения течи, поскольку на образование пробки, закрывающей ее, требуется много времени. При этом нет гарантии, что течь будет устранена полностью.

Проблема сокращения времени устранения течи решается применением способа ее устранения в горизонтально расположенном резервуаре для хранения газа или жидкости, который заключается в следующем. К надувной подушке с вертикальными проушинами присоединяют по два верхних и нижних натяжных ремня. Затем нижние ремни поочередно протаскивают под резервуаром на сторону, противоположную поврежденному участку. После этого с верхними натяжными ремнями поднимаются на резервуар и подтягивают их на себя до тех пор, пока надувная подушка не примет вертикальное положение и не накроет поврежденный участок резервуара. Удерживая подушку в таком положении, поочередно передают верхние ремни на сторону, противоположную поврежденному участку. Затем со стороны, противоположной поврежденному участку, верхние и нижние натяжные ремни натягивают так, чтобы подушка плотно прилегала к поврежденному участку внешней оболочки резервуара, и фиксируют их. Наконец, подушку накачивают воздухом до давления, обеспечивающего устранение течи [20, 21].

Анализ состава операций при этом способе и последовательности их выполнения показал, что он отличается большой трудоемкостью. Это приводит к усложнению способа и, как следствие, к увеличению времени устранения течи. Кроме того, при экс-

тренной заделке течи в режиме дефицита времени из-за человеческого фактора возможен вариант перепутывания ремней в момент передачи их на противоположную сторону, что потребует повторной установки подушки в требуемое положение и приведет к увеличению времени устранения течи. Поскольку при этом способе сначала присоединяют к надувной подушке натяжные ремни, а затем надувную подушку накладывают на поврежденный участок, подтягивая на себя пристегнутые к ней верхние натяжные ремни, это создает большую вероятность попадания на ремни агрессивных сред из поврежденного участка резервуара как в процессе присоединения к подушке, так и при установке подушки по месту, что снижает безопасность способа при его использовании. Кроме того, этот способ включает работы на высоте.

Изложенные способы устранения течи и их недостатки указывают на актуальность исследования в данной области.

Целью настоящей статьи является описание авторской технологии устранения течи в горизонтально расположенных резервуарах.

Методология

Авторская технология устранения течи лишена вышеприведенных недостатков и решает проблему сокращения времени ликвидации течи.

Сущность предлагаемой технологии заключается в следующем. Снаружи на поврежденный участок оболочки резервуара накладывают вертикально надувную подушку с вертикально закрепленными



Рис. 1. Удерживание надувной подушки в необходимом положении

Fig. 1. Holding the inflatable pillow in the required position



Рис. 2. Присоединительный узел с прикрепленными к нему замками первого и второго верхних (нижних) натяжных ремней

Fig. 2. Connecting unit with locks of the first and second upper (lower) tension belts attached to it



Рис. 3. Присоединительный узел со средствами удержания в натянутом состоянии

Fig. 3. Connecting unit with means of holding in the tense state

в углах проушинами, к которым присоединяют по два верхних и нижних натяжных ремня. Со стороны, противоположной поврежденному участку, натяжные ремни натягивают так, чтобы подушка плотно прилегала к поврежденному участку оболочки резервуара, и фиксируют их в таком положении. Затем подушку накачивают воздухом до давления, обеспечивающего устранение течи. Новым в предлагаемой технологии является то, что натяжные ремни предварительно размещают на стороне, противоположной поврежденному участку, надувную подушку вручную накладывают вертикально на поврежденный участок оболочки резервуара и также вручную удерживают в необходимом положении (рис. 1), а затем на сторону, противоположную поврежденному участку, перебрасывают через резервуар и под резервуаром соответственно верхний и нижний присоединительные узлы (рис. 2) с помощью закреп-

ленного на каждом из них средства удержания, которое после достижения присоединительным узлом противоположной стороны приводят в натянутое состояние (рис. 3). Затем к верхнему присоединительному узлу прикрепляют первый и второй верхние натяжные ремни, а к нижнему — первый и второй нижние натяжные ремни таким образом, чтобы расстояние между ними соответствовало расстоянию между вертикальными проушинами надувной подушки. После этого с помощью соответствующего средства удержания присоединительные узлы с прикрепленными к ним ремнями перетаскивают на сторону поврежденного участка, где, по-прежнему удерживая вручную подушку в первоначально достигнутом положении, сначала поочередно отсоединяют от верхнего присоединительного узла первый и второй верхние натяжные ремни и присоединяют их к соответствующим верхним вертикальным проушинам подушки, а затем поочередно отсоединяют первый и второй нижние натяжные ремни от нижнего присоединительного узла и присоединяют их к соответствующим нижним вертикальным проушинам подушки. Затем со стороны, противоположной поврежденному участку, натяжные ремни натягивают так, чтобы подушка плотно прилегала к поврежденному участку оболочки резервуара, и фиксируют их в таком положении, после чего прекращают ручную фиксацию подушки и накачивают ее воздухом до давления, обеспечивающего устранение течи.

Результаты и их обсуждение

При данной технологии выполнение первой операции, при которой надувную подушку вручную накладывают вертикально на поврежденный участок оболочки резервуара и так же вручную удерживают в требуемом положении, позволяет кратковременно прекратить утечку продукта из резервуара и обеспечить возможность выполнения остальных операций. Результаты хронометрии показали, что время реализации этой технологии составляет не более 3–5 мин, что дает возможность за счет мускульной силы прекратить на это время выход продукта из резервуара и делает удержание подушки вручную практически безопасным. Поскольку в описываемой технологии используют надувную подушку с вертикально закрепленными в углах проушинами и накладывают ее вертикально на поврежденный участок оболочки резервуара, обеспечивается возможность закрепления подушки на поврежденном участке резервуара посредством охвата последнего по периметру натяжными ремнями с последующим их закреплением на стороне, противоположной течи.

Предварительное размещение натяжных ремней на стороне, противоположной поврежденному участ-

ку, исключает операцию их переброски со стороны поврежденного участка на противоположную сторону, что сокращает время устранения течи, повышает оперативность, упрощает технологию, снижает влияние человеческого фактора на продолжительность процесса устранения течи.

Кроме того, предлагаемое исходное размещение натяжных ремней на стороне, противоположной поврежденному участку резервуара, обеспечивает возможность использования в этой технологии верхнего и нижнего присоединительных узлов. Переброска на противоположную сторону верхнего и нижнего присоединительных узлов и их возврат обеспечиваются благодаря закреплению на каждом из них средства удержания. Верхний и нижний присоединительные узлы перебрасывают соответственно над резервуаром и под ним, что обеспечивает возможность присоединения к ним соответствующих натяжных ремней. Кроме того, закрепление ремней с противоположной от поврежденного участка емкости стороны практически сводит к нулю вероятность попадания на них агрессивных сред из поврежденного участка при монтаже к надувной подушке, что повышает безопасность работ. После достижения присоединительным узлом противоположной стороны средство удержания приводят в натянутое состояние, что позволяет сэкономить время при возврате присоединительного узла.

Натяжные ремни прикрепляют к присоединительному узлу на расстоянии друг от друга, соответствующем расстоянию между вертикальными проушинами надувной подушки, что обеспечивает их перетаскивание практически параллельно друг другу и оперативное прикрепление к проушинам подушки. Кроме того, перетаскивание натяжных ремней посредством присоединительных узлов практически исключает перепутывание ремней, так как обеспечивается возможность четкого визуального контроля, что повышает оперативность работы. В результате снижается влияние человеческого фактора на продолжительность процесса устранения течи, сокращается время ликвидации утечки, повышается оперативность и, как следствие, обеспечивается безопасность работы и экологическая безопасность. Одновременно упрощается процесс и снижается трудоемкость операций за счет сокращения их общего количества по сравнению с другими способами.

Кроме того, в предлагаемой технологии возможность использования присоединительного узла для подачи к надувной подушке натяжных ремней исключает необходимость выполнения работ на высоте при ликвидации течи в горизонтально расположенном резервуаре, что упрощает процесс и повышает безопасность работ.

Поскольку в описываемой технологии сначала поочередно отсоединяют от верхнего присоединительного узла первый и второй верхние натяжные ремни и присоединяют к соответствующим верхним вертикальным проушинам подушки, а затем поочередно отсоединяют первый и второй нижние натяжные ремни от нижнего присоединительного узла и присоединяют к соответствующим нижним вертикальным проушинам подушки, исключается возможность сдергивания надувной подушки, удерживаемой мускульной силой, что также повышает безопасность работы и снижает влияние человеческого фактора на продолжительность процесса устранения течи.

Заключение

Предлагаемая технология обеспечивает достижение социального, экономического и технического результатов, а именно: повышения безопасности работ по устранению течи; повышения оперативности; сокращения времени ликвидации течи путем ускорения процесса установки надувной подушки; повышения экологической безопасности благодаря

сокращению времени устранения течи; обеспечения более высокого уровня безопасности путем исключения работ на высоте и сокращения времени ликвидации течи; упрощения процесса и снижения трудоемкости за счет сокращения общего количества операций; снижения влияния человеческого фактора на время устранения течи.

Опытным путем установлено, что технология применения присоединительного узла при ликвидации течи посредством установки на течь надувной подушки на резервуар при вертикальном расположении крепящих ремней не только облегчает, но и значительно ускоряет процесс установки бандажа. Сравнительный хронометраж установки надувной подушки известным общепринятым способом [3, 4] и посредством предлагаемой технологии с использованием присоединительного узла показал, что продолжительность устранения течи известным способом составляет 15–20 мин, а по заявленной технологии — 3–5 мин.

Для обеспечения искробезопасности присоединительный узел обрезают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сучков В. П. Пожарная безопасность при хранении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на промышленных предприятиях. — М. : Стройиздат, 1985. — 96 с.
2. Юхим М. С. Неисправности и способы ремонта резервуарных емкостей для светлых нефтепродуктов // Химическая техника. — 2015. — № 10. — С. 41–44.
3. Одинцов Л. Г., Чумак С. П., Виноградов А. Ю., Потапенко Ю. П., Медведев Г. Н. Технология ведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций. — М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. — 286 с.
4. Technical EIA guidance manual for petrochemical complexes. — Hyderabad : IL&FS Ecosmart Limited, 2010. — 240 p. URL: <https://www.elaw.org/system/files/Offshore%20and%20Onshore.pdf> (дата обращения: 05.01.2019).
5. Birn K., Osuna J., Velasquez C., Meyer J., Owens S., Cairns M. Crude by rail. The new logistics of tight oil and oil sands growth / IHS EnErgy. — December 2014. — 25 p. URL: https://ihsmarkit.com/pdf/IHS-Oil-Sands-Dialogue-Crude-by-rail-dec-2014_210390110913052132.pdf (дата обращения: 05.01.2019).
6. CN railway derailments, other accidents and incidents / Prepared by Railroaded. — Updated March 12, 2015. — 54 p. URL: <https://railroaded.files.wordpress.com/2010/10/cn-railway-derailments-other-accidents-and-incidents26.pdf> (дата обращения: 10.01.2019).
7. Liu Xiang, Turla Tejashree, Zhang Zhipeng. Accident-cause-specific risk analysis of rail transport of hazardous materials // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. — 2018. — Vol. 2672, Issue 10. — P. 176–187. DOI: 10.1177/0361198118794532.
8. Ajaya Kumar K., Tamil Selvan R., Nehal Siddiqui A., Ashutosh Gautam. Scope for developing accident causation model of road transportation of hazardous materials // International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. — 2015. — Vol. 2, Issue 10. — P. 57–63. DOI: 10.17148/IARJSET.2015.21012.
9. Воронаев Н. П. Методические подходы к прогнозированию обстановки при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). — 2016. — № 4(20). — С. 29–33.
10. Бобарико А. В., Денисов А. Н., Заусаев А. А., Кимашов В. Н., Сафиуллин Р. А. Специальная первоначальная пожарная подготовка спасателя : учебное пособие. — Химки : АГЗ МЧС России, 2012. — 232 с.
11. Liu X., Saat M. R., Barkan C. P. L. Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation // Journal of Hazardous Materials. — 2014. — Vol. 276. — P. 442–451. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.029.

12. Bagheri M., Verma M., Verter V. Transport mode selection for toxic gases: rail or road? // Risk Analysis. — 2013. — Vol. 34, Issue 1. — P. 168–186. DOI: 10.1111/risa.12063.
13. Etkin D. S., French McCay D., Horn M., Landquist H., Hassellöv I.-M., Wolford A. J. Quantification of oil spill risk // Oil Spill Science and Technology / Fingas M. (ed.). — 2nd ed. — Cambridge, MA : Gulf Professional Publishing, 2017. — P. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.
14. Саятин М. В. Совершенствование технологий ремонта резервуаров с нарушением целостности стенки : дис. ... канд. техн. наук. — Тюмень, 2000. — 161 с.
15. Хорватх Г., Кути Р. Задачи руководителя аварийно-спасательных работ по ликвидации аварий при перевозке опасных веществ автотранспортом // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 1. — С. 30–34.
16. Kuti R. Milyen mentesítő anyagokat használjunk, milyen eljárásokat alkalmazzunk veszélyes anyag beavatkozások után? // Védelem Online: Tűz- és Katasztrófavédelmi Szakkönyvtár. URL: <https://docplayer.hu/veszelyes-anyag-beavatkozások-után.html> (дата обращения: 16.01.2019).
17. Новоселов А. В., Золотов А. В., Ремизов А. П., Еремин В. Н. Устройства для временной заделки пробоин и трещин в заполненных жидкостью жестких конструкциях // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. — 2016. — № 12. — С. 43–46.
18. Бабин А. Ю., Абдрахманова К. Н., Гафарова В. А. Применение программного комплекса ABAQUS для моделирования заделки трещины в металле композитным материалом // Norwegian Journal of Development of the International Science. — 2018. — № 4-1(17). — С. 13–18.
19. Япринцев В. В., Шулаев С. В., Степанова И. А. Приспособление для герметизации разрывов трубопровода с газовыми и жидкими (в том числе агрессивными) средами // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2016. — С. 1031–1035.
20. Арсенал ПТВ. Оборудование для ликвидации течи и сбора опасных жидкостей. URL: http://arsenal-ptv.ru/catalog/likvidacia_techi/ (дата обращения: 04.01.2019).
21. Спасательное пневматическое оборудование. Инструкция по применению VETTER для устранения течей. Статья № 9987033900. — Vetter GmbH 11/10. — 41 с. URL: http://specudm.ru/data/files/downloads/vetter_instruction.pdf (дата обращения: 05.01.2019).

REFERENCES

1. V. P. Suchkov. *Pozharnaya bezopasnost pri khranении legkovosplamnyayushchikh i goryuchikh zhidkostey na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Fire safety during storage of flammable and combustible liquids in industrial plants]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 96 p. (in Russian).
2. M. S. Yukhim. Malfunctions and methods for repairing tank tanks for light petroleum products. *Khimicheskaya tekhnika / Chemical Technique*, 2015, no. 10, pp. 41–44 (in Russian).
3. L. G. Odintsov, S. P. Chumak, A. Yu. Vinogradov, Yu. P. Potapenko, G. N. Medvedev. *Tekhnologiya vedeniya avariyno-spasatelnykh rabot pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy* [The technology of conducting rescue operations in emergency response]. Moscow, All-Russian Scientific Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergency Situations Publ., 2011. 286 p. (in Russian).
4. *Technical EIA guidance manual for petrochemical complexes*. Hyderabad, IL&FS Ecosmart Limitet, 2010. 240 p. Available at: [https://www.elaw.org/system/files/Offshore %20and %20Onshore.pdf](https://www.elaw.org/system/files/Offshore%20and%20Onshore.pdf) (Accessed January 5, 2019).
5. K. Birn, J. Osuna, C. Velasquez, J. Meyer, S. Owens, M. Cairns. *Crude by rail. The new logistics of tight oil and oil sands growth*. IHS EnErgy. December 2014. 25 p. Available at: https://ihsmarkit.com/pdf/IHS-Oil-Sands-Dialogue-Crude-by-rail-dec-2014_210390110913052132.pdf (Accessed January 5, 2019).
6. *CN railway derailments, other accidents and incidents*. Prepared by Railoaded. Updated March 12, 2015. 54 p. Available at: <https://railoaded.files.wordpress.com/2010/10/cn-railway-derailments-other-accidents-and-incidents26.pdf> (Accessed January 10, 2019).
7. Xiang Liu, Tejashree Turla, Zhipeng Zhang. Accident-cause-specific risk analysis of rail transport of hazardous materials. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2018, vol. 2672, issue 10, pp. 176–187. DOI: 10.1177/0361198118794532.
8. Ajaya Kumar K., Tamil Selvan R., Nehal Siddiqui A., Ashutosh Gautam. Scope for developing accident causation model of road transportation of hazardous materials. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 2015, vol. 2, issue 10, pp. 57–63. DOI: 10.17148/IARJSET.2015.21012.

9. N. P. Voropaev. Methodical approaches to forecasting the environment in case of accidents (destructive) on chemically hazardous objects. *Prirodnyye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty) / Natural and Technological Risks (Physics-Mathematical and Applied Aspects)*, 2016, no. 4(20), pp. 29–33 (in Russian).
10. A. V. Bobariko, A. N. Denisov, A. A. Zausayev, V. N. Kimyashov, R. A. Safiullin. *Spetsialnaya pervonachalnaya pozharnaya podgotovka spasatelya* [Special initial fire rescue training]. Khimki, Academy of Civil Defence of Emercom of Russia Publ., 2012. 232 p. (in Russian).
11. X. Liu, M. R. Saat, C. P. L. Barkan. Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation. *Journal of Hazardous Materials*, 2014, vol. 276, pp. 442–451. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.029.
12. M. Bagheri, M. Verma, V. Verter. Transport mode selection for toxic gases: rail or road? *Risk Analysis*, 2013, vol. 34, issue 1, pp. 168–186. DOI: 10.1111/risa.12063.
13. D. S. Etkin, D. French McCay, M. Horn, H. Landquist, I.-M. Hassellöv, A. J. Wolford. Quantification of oil spill risk. In: M. Fingas (ed.). *Oil Spill Science and Technology*. 2nd ed. Cambridge, MA, Gulf Professional Publishing, 2017, pp. 71–183. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00002-3.
14. M. V. Sayapin. *Improvement of technologies for repairing tanks in violation of the integrity of the wall*. Cand. tech. sci. diss. Tyumen, 2000. 161 p. (in Russian).
15. G. Khorvath, R. Kuti. Tasks of the head of rescue operations to eliminate accidents during hazardous substances transportation by motor vehicles. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 1, pp. 30–34 (in Russian).
16. Kuti R. Milyen mentesítő anyagokat használjunk, milyen eljárásokat alkalmazzunk veszélyes anyag beavatkozások után? *Védelem Online: Tűz- és Katasztrófavédelmi Szakkönyvtár* (in Hungarian). Available at: <https://docplayer.hu/veszelyes-anyag-beavatkozások-utan.html> (Accessed January 16, 2019).
17. A. V. Novosyolov, A. V. Zolotov, A. P. Remizov, V. N. Eryomin. Devices for temporary sealing of holes and cracks in the liquid-filled rigid structures. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskiye dostizheniya i peredovoy opyt / Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and Technological Achievements and Best Practices*, 2016, no. 12, pp. 43–46 (in Russian).
18. A. Yu. Babin, K. N. Abdrakhmanova, V. A. Gafarova. Using ABAQUS product for modeling of crack filling by composite material. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 2018, no. 4-1(17), pp. 13–18 (in Russian).
19. V. V. Yaprincev, S. V. Shulayev, I. A. Stepanova. A device for sealing pipeline ruptures with gas and liquid (including aggressive) media. In: *Universitetskiy kompleks kak regionalnyy tsentr obrazovaniya, nauki i kultury. Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [University complex as a regional center of education, science and culture. Proceedings of All-Russian Scientific and Methodical Conference]. Orenburg, Orenburg State University Publ., 2016, pp. 1031–1035 (in Russian).
20. *Equipment to eliminate leaks and collection of hazardous liquids* (in Russian). Available at: http://arsenal-ptv.ru/catalog/likvidacia_techi (Accessed January 4, 2019).
21. *Emergency Pneumatics. Operating Instructions VETTER Leak Sealers*. Article No. 9987033900. Vetter GmbH 11/10. 41 p. (in Russian). Available at: http://specudm.ru/data/files/downloads/vetter_instruction.pdf (Accessed January 5, 2019).

Материал поступил в редакцию 11 января 2019 г.

Received January 11, 2019

Информация об авторах

ДЕНИСОВ Алексей Николаевич, д-р. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной тактики и службы, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: dan_aleks@mail.ru

ШЕРЕМЕТЬЕВ Сергей Николаевич, начальник Управления по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности, Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат, г. Новодвинск, Российская Федерация; e-mail: sheremetev.sergey@appm.ru

Information about the authors

Aleksey N. DENISOV, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of Department of Fire Tactics and Service, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: dan_aleks@mail.ru

Sergey N. SHEREMETYEV, Head of Civil Defense, Emergency and Fire Safety, Arkhangelsk Pulp and Paper Mill, Novodvinsk, Russian Federation; e-mail: sheremetev.sergey@appm.ru

Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия

© Т. Ю. Еремина^{1(✉)}, А. В. Богданов², О. В. Сушкова², А. Юг³

¹ Институт комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² Государственный Эрмитаж (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34)

³ Беккер Колледж (61 Север Стрит, Ворчестер, МА 01609, Массачусетс, США); CTIF (Международная ассоциация пожарных и спасателей); Университет Любляны, Словения (Дорога мореходов, 4, 6320 Порторож, Любляна, Словения)

РЕЗЮМЕ

Введение. В настоящее время многие объекты культурного наследия стали многофункциональными историческими зданиями, в которых обеспечивается сохранение архитектурных и конструктивных решений, противоречащих современным нормам пожарной безопасности. На таких объектах с массовым пребыванием людей должна обеспечиваться безопасная эвакуация при пожаре, что осложняется присутствием различных групп людей (детей, иностранцев, маломобильных людей и т. п.). В связи с этим необходима разработка актуальных методических рекомендаций по проведению тренировок по эвакуации на объектах культурного наследия.

Методы исследования. При эвакуации в случае пожара людские потоки должны перемещаться по строго определенным маршрутам в соответствии с планами эвакуации. Это обуславливает обязательность тренировок по эвакуации для персонала.

Учебная эвакуация для сотрудников в Государственном Эрмитаже проводится регулярно. Пожарно-технической комиссией разрабатываются годовой план-график и план учебной эвакуации; оценка эвакуации отражается в итоговой справке.

5 апреля 2018 г. в здании Зимнего дворца Государственного Эрмитажа была проведена учебная эвакуация персонала и посетителей. В ходе эвакуации проверялись: 1) взаимодействие дежурных служб и сотрудников музея с сотрудниками МЧС и Росгвардии; 2) организация спасения и эвакуации людей; 3) обеспечение сохранности материальных и культурных ценностей; 4) состояние систем противопожарной защиты; 5) укомплектованность первичными средствами пожаротушения и средствами оказания первой медицинской помощи.

Результаты и обсуждение. Учебная эвакуация была организована в соответствии с планом; цели достигнуты. Фактическое время эвакуации не превысило нормативного и расчетного. При этом необходимо учитывать, что поведение людей в условиях реальной эвакуации может отличаться от поведения при учебной эвакуации.

Выводы. Для разработки методических рекомендаций по проведению эвакуации необходимо изучать движение людских потоков, анализировать периоды, для которых возможно массовое скопление на объекте людей, в особенности детей разного возраста. Для такого анализа может быть использована статистика посещения музеев.

Ключевые слова: эвакуация при пожаре; эвакуационные пути; эвакуационные выходы; учебная эвакуация; объекты культурного наследия с массовым пребыванием людей; дети различного возраста.

Для цитирования: Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Юг А. Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 54–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.54-66.

✉ Еремина Татьяна Юрьевна, e-mail: main@stopfire.ru

Evacuation procedure features for cultural heritage objects

© T. Yu. Eremina^{1(✉)}, A. V. Bogdanov², O. V. Sushkova², A. Jug³

¹ Institute of Integrated Safety and Security in Building Industry, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² The State Hermitage Museum (Dvortsovaya Emb., 34, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation)

³ Becker College (61 North St., Worcester, MA 01609, Massachusetts, USA); CTIF (International Association of Firefighters and Rescuers); University of Ljubljana, Slovenia (Sailors' Route 4, 6320 Portoroz, Ljubljana)

ABSTRACT

Introduction. Many cultural heritage objects are multifunctional historic buildings with protected architectural and constructional solutions contradicting fire safety requirements. Safe evacuation should be provided for such objects with high occupancy, but it's complicated by various occupant groups (children, foreigners, disabled people). Development of evacuation training guidelines for cultural heritage objects is necessary.

Methods. People in fire evacuation should follow strictly defined routes, according fire evacuation plans. This makes evacuation training for personnel necessary.

Evacuation trainings for personnel are regularly organized in State Hermitage Museum. Fire safety commission develops annual scheduled plan and training plan, evacuation training results are estimated in review.

Evacuation training for personnel and visitors was organized in Winter Palace of State Hermitage Museum on the 5th April 2018. Museum personnel, emergency service, Russian National Guard coordination, people evacuation and rescue, cultural property salvage, fire protection systems condition, completeness with emergency fire-fighting equipment and first aid treatment were checked.

Results and discussion. Evacuation training was organized according to plan, it was succeeding at goal. Visitor evacuation training time didn't exceed normative and calculated. But it's necessary to take into account that people behavior at real evacuation may vary and make stream movement difficult.

Conclusion. Evacuation training procedure improvement can be organized by investigation of people stream movement, analysis of high occupancy time intervals, especially for various-aged children. Such analysis should include museum visit statistical data.

Keywords: fire evacuation, egress mean, emergency exit, evacuation training, cultural heritage objects with high occupancy, variously-aged children.

For citation: T. Yu. Eremina, A. V. Bogdanov, O. V. Sushkova, A. Jug. Evacuation procedure features for cultural heritage objects. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 54–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.54-66.

✉ Tatyana Yuryevna Eremina, e-mail: main@stopfire.ru

Введение

Объекты культурного наследия России не только представляют особую ценность для народов нашей страны, но и являются неотъемлемой частью всемирного культурного наследия. К ним относятся и уникальные по своей архитектуре исторические здания [1]. Использование исторических зданий осуществляется организациями, подведомственными Министерству культуры, а также организациями других министерств (здравоохранения, образования и науки, обороны, транспорта и др.).

Кроме ведомственной принадлежности, эти здания в зависимости от их историко-культурного значения могут относиться к объектам федерального, регионального, местного или муниципального значения [2].

В настоящее время многие объекты культурного наследия стали многофункциональными историческими зданиями, в которых обеспечивается сохранение архитектурных и конструктивных решений, причем при минимальных затратах. Однако такие решения, принятые ранее и сохраняемые сегодня, могут противоречить нормам пожарной безопасности в части соблюдения требований к пожарным отсекам, лестничным клеткам, эвакуационным путям и выходам.

На объектах культурного наследия с массовым пребыванием людей, в первую очередь, должна обеспечиваться их безопасная эвакуация при пожаре, для которой характерны следующие проблемные вопросы:

- присутствие различных групп людей (социальных, возрастных), в том числе детей разного возраста, иностранцев, а также категорий маломобильных людей, испытывающих затруднения при самостоятельном передвижении;

- периоды, в которые существенно увеличивается количество людей на объекте (дни школьных каникул, государственных праздников, проведения временных выставок и т. п.).

Эвакуация осложняется еще и тем, что объемно-планировочные решения на таких объектах не соответствуют требованиям, предъявляемым к параметрам эвакуационных путей и выходов. В частности, рассматриваемое в настоящей статье историческое здание Государственного Эрмитажа — Зимний дворец имеет расстояния по путям эвакуации до ближайших выходов, превышающие нормативные значения. Согласно п. 6.1.20 СП 1.13.130.2009 (Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы) при наименьшей плотности людского потока для здания класса конструктивной пожарной опасности С0 расстояние из помещений, расположенных между лестничными клетками или наружными выходами, до ближайших эвакуационных выходов не должно превышать 60 м, из помещений с выходами в тупиковый коридор или холл — 30 м. Расстояния из удаленных от выходов помещений Зимнего дворца значительно превышают требуемые значения (рис. 1–3).

Расстояние до ближайших эвакуационных выходов из помещений, обозначенных на плане 1-го этажа (см. рис. 1), составляет:

- от А до выходов: № 2 — 137 м, № 5 — 130 м;
- от В до выходов: № 2 — 69 м, № 3 — 93 м;
- от С до выходов: № 5 — 76 м, № 6 — 98 м.

Расстояние до ближайших лестниц (Л) из помещений, обозначенных на плане 2-го этажа (см. рис. 2), составляет:

- от А до Л № 3 — 90 м, Л № 4 — 94 м;
- от В до Л № 1 — 113 м, Л № 2 — 87 м;
- от С до Л № 5 — 66 м.

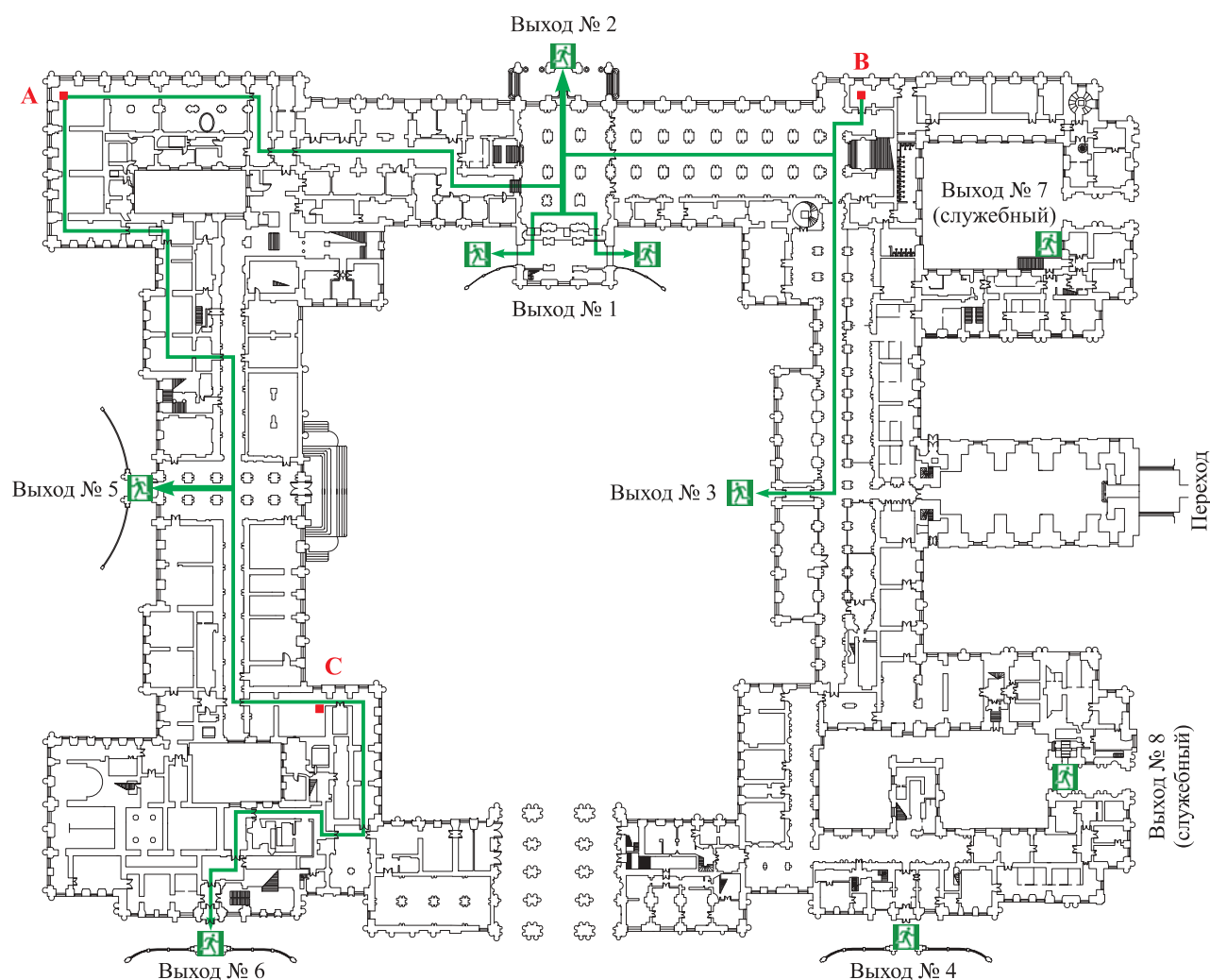


Рис. 1. План 1-го этажа Зимнего дворца Государственного Эрмитажа

Fig. 1. First floor of Winter Palace (State Hermitage Museum)

Расстояние до ближайших лестниц из помещений, обозначенных на плане 3-го этажа (см. рис. 3), составляет:

- от А до Л № 6 — 70 м, Л № 4 — 90 м;
- от В до Л № 3 — 101 м.

Трагедия в кемеровском торговом центре “Зимняя вишня” привлекла внимание к проблеме разработки и внедрения методических рекомендаций по учебной эвакуации детей различного возраста [4].

Исследования особенностей процесса эвакуации рассматривались в работах [3–8]. Огромная методологическая работа проделана в исследованиях [9]. Для разработки предложений по обеспечению безопасности посетителей Государственного Эрмитажа на случай возникновения пожара в 1983 г. ВНИИПО МВД СССР были проведены натурные исследования динамики движения посетителей в различные периоды работы музея. Для этого расставлялись контролеры-счетчики в “узловых точках” — наиболее посещаемых залах музея, а также на входе в музей и выходе из него. Совокупность полученных

значений числа посетителей $N_{10ij}(t)$, проходящих через i -й контрольный пост в j -м направлении за последовательные интервалы времени $\Delta t = 10$ мин, составила исходный материал для анализа динамики движения посетителей. При этом эвакуация посетителей не проводилась. Результаты натурных исследований были проанализированы и отражены в диссертации С. А. Никонова [8].

В связи с вышеизложенным необходима разработка актуальных методических рекомендаций по проведению тренировочной эвакуации на объектах культурного наследия, приспособленных для современного использования, в особенности на объектах с массовым пребыванием людей и при наличии различных групп посетителей. Поведение представителей каждой группы во время эвакуации имеет свою специфику и должно рассматриваться отдельно.

Материалы и методы

Наиболее сложными проблемами для объектов охранного статуса являются: наличие зауженных и

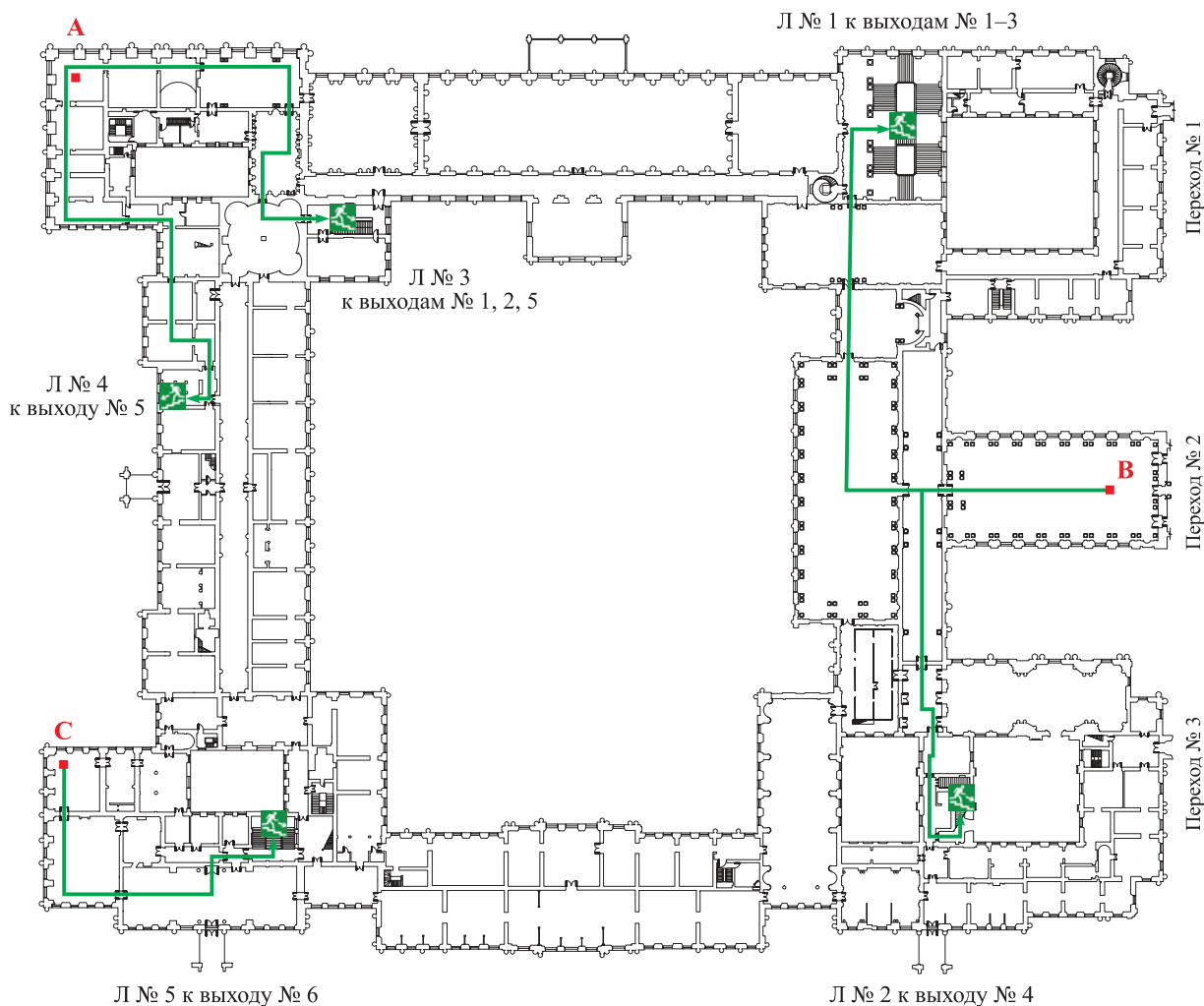


Рис. 2. План 2-го этажа Зимнего дворца Государственного Эрмитажа
Fig. 2. Second floor of Winter Palace (State Hermitage Museum)

заниженных эвакуационных путей и выходов; превышение расстояний по путям эвакуации до ближайшего выхода; увеличенное количество ступеней в одном лестничном марше; отсутствие безопасных зон. Требования к сохранению объекта культурного наследия в соответствии Федеральным законом № 73-ФЗ “Об объектах культурного наследия народов Российской Федерации” предусматривают консервацию, ремонт и реставрацию объекта культурного наследия, приспособление его для современного использования либо сочетание указанных мер. Работы по сохранению объекта культурного наследия проводятся в соответствии с реставрационными нормами и правилами, утверждаемыми федеральным органом охраны объектов культурного наследия. Нормативные документы по пожарной безопасности применяются только в тех случаях, которые не противоречат интересам сохранения данного объекта культурного наследия.

Для обеспечения безопасной эвакуации людей на таких объектах необходимо предусмотреть тре-

буемые параметры эвакуационных путей и возможность их использования. Среди основных причин, вызывающих гибель людей при пожарах, специалисты называют отказ системы оповещения и, как следствие, невозможность своевременно воспользоваться запасными выходами (до блокирования их опасными факторами пожара (ОФП)), в результате чего у людей возникает паника, образуются “пробки” на эвакуационных путях.

После пожара, случившегося в кемеровском торговом центре “Зимняя вишня” 25 марта 2018 г., когда погибли 64 чел., в том числе 41 ребенок, были инициированы проверки исполнения требований законодательства в области пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей. При расследовании трагедии установлено, что в здании торгового центра пожарная сигнализация и система оповещения о пожаре не работали, двери эвакуационных выходов оказались закрыты, организация эвакуации со стороны администрации объекта не проводилась.

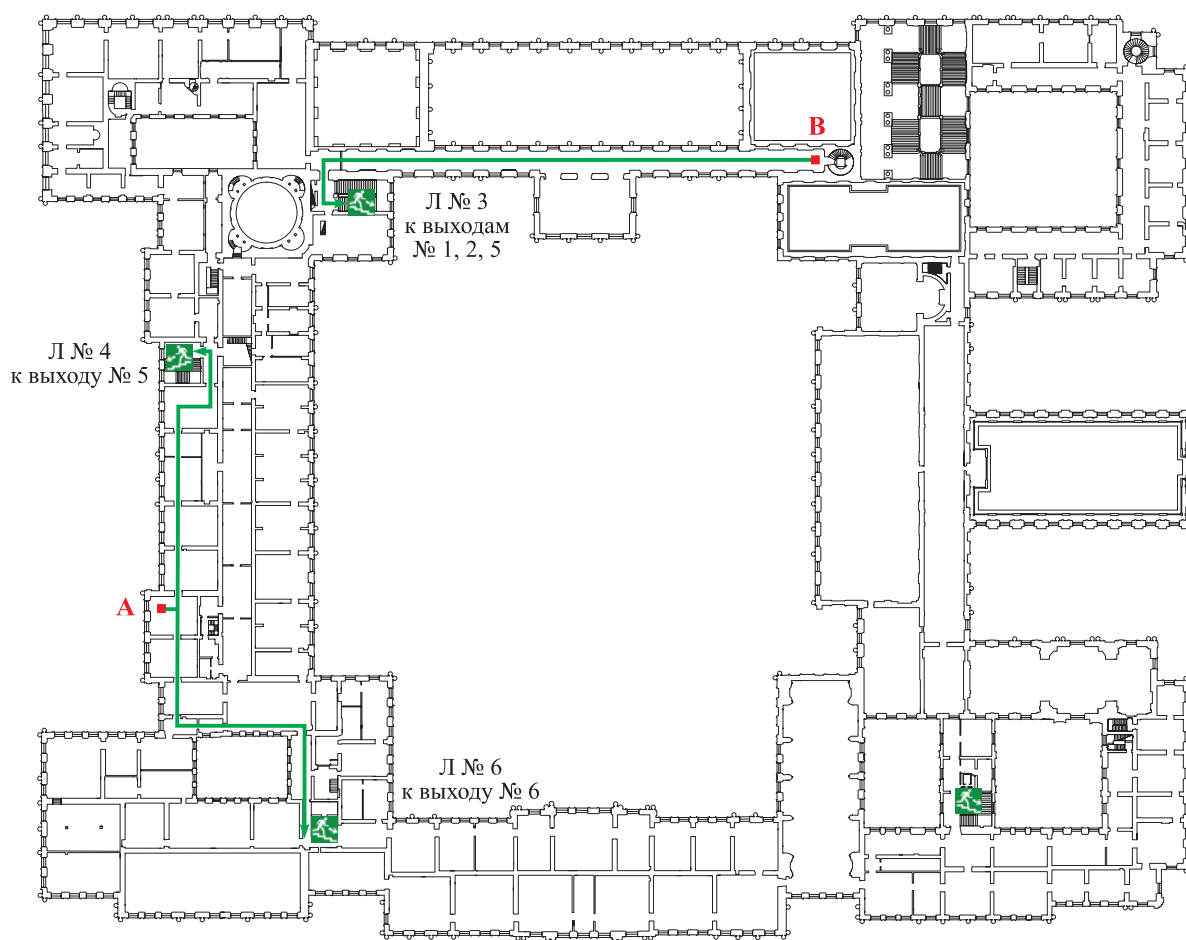


Рис. 3. План 3-го этажа Зимнего дворца Государственного Эрмитажа

Fig. 3. Third floor of Winter Palace (State Hermitage Museum)

Безопасная эвакуация людей из зданий при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени с момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре и обеспечивается беспрепятственность движения людских потоков. Необходимое время эвакуации — расчетная величина, методы определения которой изложены в [10].

В соответствии с п. 6.1.31 СП 1.13130.2009 необходимое время эвакуации (из спортивных залов с трибунами для зрителей и других зрительных залов):

а) из зального помещения объемом W более 60 тыс. м³ до ближайшего эвакуационного выхода* должно определяться по формуле $t_{н\text{бз}} = 0,115\sqrt[3]{W}$, но не должно превышать 6 мин;

б) из здания в целом с залом объемом более 60 тыс. м³ не должно превышать 10 мин.

* Термин “ближайший эвакуационный выход” используется в большинстве разделов СП 1.13130.2009; предполагается, что люди в зависимости от их местоположения в момент начала пожара выбирают ближайший к ним выход, через который можно эвакуироваться, и начинают движение к нему.

В соответствии с п. 6.22 СП 118.13330.2012* (Общественные здания и сооружения) необходимое время эвакуации:

а) из зального помещения объемом 60 тыс. м³ до ближайшего эвакуационного выхода не должно превышать 4,5 мин;

б) непосредственно наружу из зданий классов конструктивной пожарной опасности С0, С1 высотой свыше 17 до 28 м с залом указанного объема следует принимать равным 10 мин.

Кроме того, существуют следующие проблемные вопросы с учетом специфики объектов культурного наследия, которые необходимо прорабатывать для совершенствования методологии оценки пожарного риска для таких объектов:

1) отсутствует свод правил для объектов культурного наследия;

2) отсутствуют классификация объектов культурного наследия и соответствующие требования по их защите с учетом их охранного статуса;

3) объемно-планировочные и конструктивные решения объектов культурного наследия не описаны в Методике [10], не отвечают требованиям совре-

менных нормативных документов, что затрудняет расчет индивидуального пожарного риска.

В руководстве по обеспечению пожарной безопасности на объектах культурного наследия [11] предлагается также рассматривать для некоторых из них возможность поэтапной эвакуации. В этом документе в качестве основополагающих принципов проведения эвакуации указаны следующие:

- не беспокоить посетителей до окончательного принятия решения о проведении эвакуации;
- эвакуацию следует начинать в тот момент, когда становится очевидной ее неизбежность;
- эвакуация должна быть проведена максимально быстро и эффективно.

Необходимо анализировать количество и категории (дети, пенсионеры, маломобильные люди) возможных посетителей здания, места и величину скопления людей в различных частях здания. Эти данные могут существенно различаться для исторических зданий, которые часто используются для проведения различных мероприятий (банкетов, свадебных торжеств, концертов, лекций, конференций).

Одновременная эвакуация (общее оповещение). В исторических зданиях небольшого и среднего размера при эвакуации предполагается, что все слышат оповещение об обнаружении пожара и покидают здание. Одновременная эвакуация начинается по сигналу общего оповещения (системы пожарной сигнализации) [11].

Управляемая эвакуация (оповещение персонала). В зданиях с большим количеством посетителей, которые незнакомы с их планировкой, необходимо избегать паники, которая может возникнуть при одновременной эвакуации. В этом случае рекомендуется управляемая эвакуация, которая основана на хорошей подготовке персонала и тщательно спланированной процедуре эвакуации: при срабатывании пожарной сигнализации оповещают персонал, специально назначенные сотрудники устанавливают причину срабатывания и, если ситуация требует эвакуации из здания, оповещают всех людей, находящихся в здании [11].

Эвакуация проводится организованно, под управлением персонала, в соответствии с предварительно разработанным и регулярно апробируемым планом.

Поэтапная эвакуация (поэтапное оповещение). В больших музеях или достаточно сложных исторических зданиях можно проводить поэтапную эвакуацию [11]. Поэтапная эвакуация обладает следующими преимуществами:

- уменьшением скопления людей на путях эвакуации, в особенности на лестницах. При одновременной эвакуации всего здания люди обычно выходят на лестницы на всех этажах одновременно, что может привести к образованию заторов;

- уменьшением вероятности возникновения паники. Предупреждение об опасности при отсутствии возможности (из-за заблокированных выходов) быстро покинуть здание легко вызывает паническую реакцию, которая может усилиться при наличии узких проходов или лестниц в некоторых типах исторических зданий. Последствия такой паники могут оказаться даже губительнее последствий самого пожара.

Полная эвакуация всего здания рекомендуется только в том случае, если пожар выходит из-под контроля. В большинстве случаев достаточно эвакуировать людей из одного или нескольких пожарных отсеков.

В руководстве [11] анализируется необходимость организации реальной эвакуации в случае пожара. При проведении учебной эвакуации рассматривается наиболее опасная ситуация, при которой должны эвакуироваться все посетители и сотрудники.

1. Согласно руководству [11] тренировки проводятся с персоналом, без привлечения посетителей, так как юридических оснований для этого нет.

2. Срабатывание системы оповещения при срабатывании пожарных извещателей — обязательное требование. Передача специальных текстов для персонала предусмотрена только для больниц и дошкольных учреждений. В рассматриваемой управляемой эвакуации оповещение сначала проводят для сотрудников.

3. Возможность реализации нескольких вариантов эвакуации из каждой зоны пожарного оповещения (поэтапное оповещение) предусмотрена системой оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) V типа, рекомендована СОУЭ IV типа, но окончательное решение по выбору варианта принимается проектной организацией.

Тренировки по эвакуации для лиц, осуществляющих свою деятельность на объекте, регулярно проводятся в Государственном Эрмитаже. В соответствии с Методическими рекомендациями МЧС России [12] пожарно-технической комиссией разрабатывается пакет документов, адаптированных для объекта (отдельные здания и помещения Государственного Эрмитажа):

1) годовой план-график в виде таблицы с определением дат и времени проведения учебной эвакуации, мест ее проведения, ответственных исполнителей;

2) приказ о подготовке и проведении учебной эвакуации, в котором указываются дата и время ее проведения; указываются руководитель и начальник штаба; указываются сроки предоставления для утверждения документов по подготовке и проведе-

нию занятий и учебной эвакуации; определяются мероприятия и ответственный по охране труда;

3) план проведения учебной эвакуации, который включает в себя тему, цели, состав участников и этапы эвакуации;

4) справка (акт) об итогах организации подготовки и проведения учебной эвакуации с указанием номера приказа, в соответствии с которым проводилась эвакуация, плана и этапов эвакуации, хронометража и действий всех участников эвакуации, итогов и оценки проведенной эвакуации руководителем.

Методические рекомендации [12] подготовлены УГПН МЧС России в целях совершенствования системы подготовки персонала объектов к действиям в условиях возникновения пожароопасных и иных чрезвычайных ситуаций за счет повышения роли тренировок, максимально приближенных к возможным реальным условиям; приобретения персоналом объектов устойчивых навыков, необходимых для принятия быстрых и четких решений; выполнения действий, необходимых для предупреждения опасных последствий, которые могут иметь место при возникновении пожаров и иных чрезвычайных ситуаций. В связи с этим должна проводиться тренировочная, а не учебная эвакуация при пожаре, поэтому один из эвакуационных выходов должен быть заблокирован.

5 апреля 2018 г. в здании Зимнего дворца Государственного Эрмитажа была проведена учебная эвакуация персонала и посетителей. Зимний дворец, построенный в 1754–1762 гг., представляет собой трехэтажное здание, имеющее форму каре с внутренним двором, III степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности С0, класса функциональной пожарной опасности Ф2.2, Ф3.1, Ф5.1, Ф5.2. Площадь, занимаемая зданием, — 36 572 м². В помещениях Зимнего дворца располагаются выставочные залы, хранилища, научные отделы, мастерские.

Отличительной особенностью данной эвакуации было то, что она проводилась в реальных условиях работы музея, а значит, к эвакуации были привлечены различные группы людей: работники музея, сотрудники сторонних организаций, расположенных в здании Зимнего дворца, сотрудники противопожарной службы, сотрудники Росгвардии и посетители музея.

В ходе тренировки по эвакуации должны быть проверены:

- взаимодействие дежурных служб и сотрудников музея с сотрудниками МЧС и Росгвардии в случае возникновения пожара;
- правильность действий по вызову пожарной охраны (он должен быть немедленным), организа-

ции спасения, эвакуации людей и обеспечению сохранности материальных и культурных ценностей при угрозе возникновения пожара;

- реальность и эффективность разработанных планов эвакуации;
- состояние систем пожарной сигнализации;
- состояние СОУЭ;
- работа автоматической разблокировки дверей эвакуационных выходов;
- возможность свободного подъезда к пожарным гидрантам;
- укомплектованность первичными средствами пожаротушения;
- укомплектованность музея медикаментами и средствами оказания первой медицинской помощи в соответствии с требованиями приказа Минздрава России от 05.03.2011 № 169н “Об утверждении требований к комплектации изделениями медицинского назначения аптек для оказания первой помощи работникам”.

Проведению тренировки предшествовало изучение плотности людских потоков в различные временные периоды.

В табл. 1 представлены сведения о ежедневном посещении музея организованными группами в зависимости от сезона. Наиболее насыщенный посетителями сезон — весенне-летний. В отдельную группу выделены периоды продолжительных выходных дней, когда количество экскурсионных групп в музее увеличивается.

Объединяющим фактором для данной категории посетителей является то, что в здании со сложной и незнакомой для них планировкой процесс эвакуации будет проходить организованно в нужном направлении, так как группу будет направлять гид, знакомый с особенностями музея.

Количество людей в группе — не более 25 чел. Продолжительность обзорной экскурсии составляет 1 ч 40 мин. Исходя из приведенных в табл. 1 данных, можно установить, что количество одновременно находящихся в музее посетителей в организованных группах составляет в среднем около 1500 чел.

В табл. 2 представлены сведения по количеству людей в музее, прошедших билетный контроль. В данной таблице учтены все посетители, посещающие музей как в организованных группах, так и самостоятельно. Сведения собирались в течение одного месяца насыщенного посетителями сезона.

Из представленных в табл. 2 сведений можно определить время, когда количество посетителей в музее наибольшее.

Количество посетителей резко увеличивается к 11 ч 30 мин. Это объясняется тем, что музей с 10 ч 30 мин открывается для одиночных посетителей.

Таблица 1. Посещение музея организованными группами (с гидом) / **Table 1.** Visit to the museum (tourist groups with guide)

Часы посещения Visiting hours	Количество групп, посещающих музей в период Group number for time period					
	Сентябрь – апрель September – April		Май – август May – August		Праздничные дни (январские, майские) Holidays (January, May)	
	1-й вход 1 st entrance	2-й вход 2 nd entrance	1-й вход 1 st entrance	2-й вход 2 nd entrance	1-й вход 1 st entrance	2-й вход 2 nd entrance
10:40		2				
10:45	5		5	5	5	5
10:50		2				
11:00	5		5		10	
11:10		2				
11:15	5		5	5	5	5
11:20		2				
11:30	5	2	5		5	
11:40		2				
11:45	5		5	5	5	5
11:50		2				
12:00	5	2	5		10	
12:10		2				
12:15	5		5	5	5	5
12:20		2				
12:30	5	2	5		5	
12:40		2				
12:45	5		5	5	5	5
12:50		2				
13:00	5	2	5		10	
13:10		2				
13:15	5		5	5	5	5
13:20		2				
13:30	5	2	5		5	
13:40		2				
13:45	5		5	5	5	5
13:50		2				
14:00	5	2	5		10	
14:10		2				
14:15	5		5	5	5	5
14:20		2				
14:30	5	2	5		5	
14:40		2				
14:45	5		5	5	5	5
14:50		2				
15:00	5	2	5		10	
15:10		2				
15:15	5		5	5	5	5
15:20		2				
15:30	5	2	5		5	
15:40		2				
15:45	5		5	5	5	5
15:50		2				
16:00	5	2	5		10	
16:10		2				
16:15	5		5	5	5	5
ИТОГО TOTAL	115	68	115	60	145	60
	183		175		205	

Исходя из анализа количества посетителей в различные периоды времени, было принято решение начать учебную тренировку по эвакуации в 11 часов в день бесплатного посещения музея. К моменту срабатывания системы оповещения в Зимнем дворце находилось 1800 посетителей, прошедших билетный контроль. С учетом наличия среди посетителей иностранных граждан оповещение в музее проводится на русском, английском и французском языках.

К проведению учебной тренировки привлекались статисты, которые были расставлены у эвакуационных выходов для фиксации количества эвакуированных людей и времени эвакуации.

Согласно плану эвакуации в здании Зимнего дворца для посетителей имеется 6 выходов непосредственно наружу, отвечающих требованиям пожарной безопасности. Кроме того, имеются выходы из служебных помещений для сотрудников, а также четыре перехода в другое здание (один — на первом этаже и три — на втором) (см. рис. 1–3).

В табл. 3 сведены данные по количеству людей, прошедших через эвакуационные выходы, и времени эвакуации.

Число эвакуированных людей в сумме составляет 1410 чел. Остальные посетители в количестве 390 чел. к моменту срабатывания системы оповещения перешли в другое здание музея.

Результаты и обсуждение

Для Зимнего дворца в 2012 г. специалистами Санкт-Петербургского филиала ФГБУ ВНИИПО был выполнен расчет индивидуального пожарного риска. При проведении расчета рассматривались две аварийные ситуации. В результате первой ситуации происходило блокирование лестниц № 1 и 2 и выходов из правой части Зимнего дворца № 1–4, в результате второй — блокирование лестниц № 3–5 и эвакуационных выходов из левой части Зимнего дворца № 1, 2, 5 и 6.

Одной из целей учебной тренировки было определение реального времени эвакуации посетителей из здания Зимнего дворца в условиях работы музея. Опасными факторами пожара условно был блокирован эвакуационный выход для сотрудников музея № 7, расположенный в правой части Зимнего дворца. Максимальное время эвакуации непосредственно наружу из здания составило 6 мин 37 с. Согласно расчетам по первой аварийной ситуации минимальное время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП составило: для выходов № 1 и 2 — 8 мин 6 с, № 3 — 5 мин 36 с, № 4 — более 10 мин.

Проведение тренировки по эвакуации в реальных условиях позволило проследить поведение раз-

Таблица 2. Количество посетителей, прошедших билетный контроль в Зимнем дворце в течение месяца**Table 2.** Visitor number at ticket inspection in Winter Palace during the month

День месяца Day of the month	Количество посетителей, чел., в интервалы времени / Visitor number at time periods											
	9–10	10–11	11–12	12–13	13–14	14–15	15–16	16–17	17–18	18–19	19–20	20–21
1.07. Суббота / Saturday	660	2223	2334	2464	2497	2450	2768	2224	41	11	114	
2.07. Воскресенье / Sunday	1393	2222	3098	2354	2388	3180	2524	1716	66			
4.07. Вторник / Tuesday	1225	2274	3413	2485	2633	3020	3354	1944	40	40		
5.07. Среда / Wednesday	554	2077	2705	2581	2235	2240	3008	2221	1615	1137	893	74
6.07. Четверг / Thursday	341	1686	2546	2041	2311	2579	2208	2937	306	70	48	
7.07. Пятница / Friday	826	1399	2843	2083	1879	2081	2750	2218	1111	904	323	63
8.07. Суббота / Saturday	865	2170	2823	2057	2307	2474	2681	1445	68	56	89	292
9.07. Воскресенье / Sunday	1230	1816	2915	2358	2224	3176	2379	2038	17	27	115	
11.07. Вторник / Tuesday	1200	3151	3297	3141	2328	2889	3009	1996	54	41		
12.07. Среда / Wednesday	1204	2332	3754	2454	2564	2730	2813	2736	1840	1501	931	111
13.07. Четверг / Thursday	1246	1646	2940	1751	2024	2329	2042	1853	20	7	67	
14.07. Пятница / Friday	742	1776	2683	2288	2249	2271	2615	2118	1368	969	696	10
15.07. Суббота / Saturday	886	2056	2623	2178	2125	2286	2681	1437	26	44		
16.07. Воскресенье / Sunday	1130	1808	3026	1874	1874	2278	2853	1513	114			
18.07. Вторник / Tuesday	810	1882	3491	2873	2492	2977	3364	2624	152	67		
19.07. Среда / Wednesday	680	1541	3019	2298	1872	2094	2317	2323	1731	2047	704	81
20.07. Четверг / Thursday	196	1520	3012	2628	2432	3136	2695	2035	76			
21.07. Пятница / Friday	451	1302	2437	2138	1873	2068	2075	2003	1082	1064	660	37
22.07. Суббота / Saturday	1641	2419	3369	2095	2466	2609	2804	1891	20	19	155	80
23.07. Воскресенье / Sunday	1035	2157	2737	2271	2596	2721	2746	1872	192			
25.07. Вторник / Tuesday	1193	2072	3445	2817	2852	3105	3500	2528	223	44		
26.07. Среда / Wednesday	937	1817	3286	2477	2102	2832	2749	2190	1305	1574	1168	94
27.07. Четверг / Thursday	744	1388	2325	1966	1747	1878	2380	963	59	2	58	
28.07. Пятница / Friday	199	1130	2588	2135	1457	1576	2108	1442	758	1074	178	4
29.07. Суббота / Saturday	566	1276	2767	2385	2025	2019	2100	1510	30	30		
30.07. Воскресенье / Sunday	550	1514	2796	2347	1700	2041	2386	919	57	29	83	
ИТОГО / TOTAL	23162	48960	76527	61122	57361	65110	68986	50696	12371	10757	5882	846

Таблица 3. Число посетителей и время эвакуации**Table 3.** Number of people and evacuation time

Номер эвакуационного выхода Exit number	Время эвакуации, мин:с Evacuation time, min:sec	Число эвакуированных посетителей, чел. Evacuating people
1	6:00	580
2	4:01	325
3	6:10	124
4	6:37	223
5	3:03	40
6	2:30	118

личных категорий посетителей, их эмоциональную и поведенческую реакцию, проверить соответствие реального времени эвакуации нормативному, установленному СП 118.13330.2012*, а также расчетному времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей опасными факторами пожара, приведенному в расчетах пожарного риска для здания Зимнего дворца.

Необходимо отметить, что эвакуация посетителей проводилась в хорошо освещенных помещениях, в условиях отсутствия ОФП и других факторов, которые могут неблагоприятно повлиять на человека. В этих условиях посетители музея не проявляли

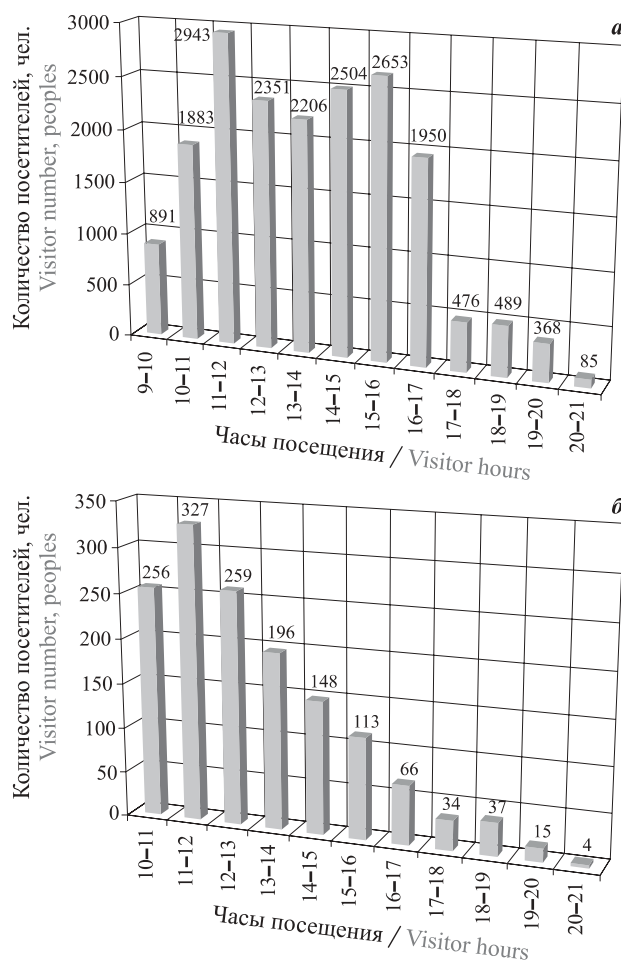


Рис. 5. Посещаемость Зимнего дворца (а) и Малого Эрмитажа (б) в разное время суток (июнь 2017 г.)

Fig. 5. Visitor number in Winter Palace (a) and Small Hermitage (b) depending on time of day (June 2017)

панических настроений. Из-за сложности планировки здания, наличия различных проходов и галерей основная трудность, с которой столкнулись посетители, — пройти коротким путем к ближайшему выходу. Справиться с этим помогли обученные сотрудники службы безопасности музея и наличие знаков СОУЭ, расположенных на путях к выходам. В результате фактическое время эвакуации посетителей из здания музея практически не превысило нормативное и расчетное.

Следует учитывать, что в реальных условиях при воздействии ОФП, в темное время суток, при наличии неоднозначной планировки, а также сложных участков (лестниц с количеством ступеней в одном марше более 16) на путях эвакуации вероятность возникновения паники у посетителей очень велика, а это может повлиять на время эвакуации. Неоднородность состава групп посетителей в такой ситуации тоже приводит к снижению скорости движения потока. Для правильной оценки времени эвакуации необходимо знать число людей в здании в зависимости от времени года, суток и т. п. Для вы-

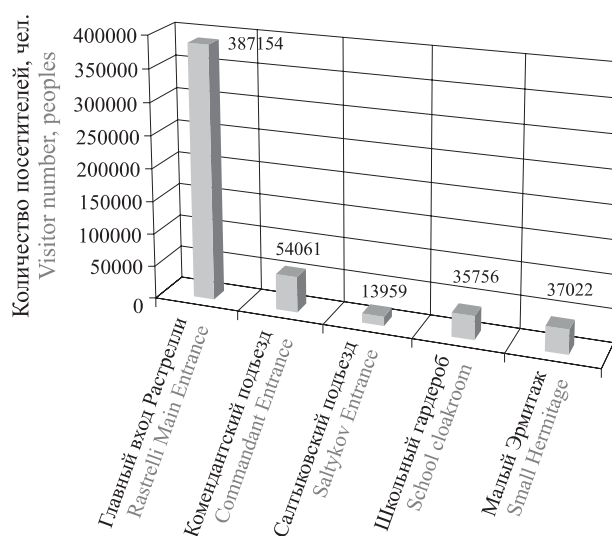


Рис. 6. Посещаемость музеев с распределением числа посетителей по входам (июнь 2017 г.)

Fig. 6. Visitor number distributing by entrances (June 2017)

полнения данной задачи необходимо проводить изучение движения и моделирование людских потоков при эвакуации из зданий [13–23].

Кроме того, для правильной оценки времени эвакуации необходимо учитывать исторически сложившиеся архитектурные особенности музея:

- наличие входов в музей в зданиях Малого Эрмитажа и Большого Эрмитажа;
- соединение всех зданий между собой галереями и переходами, не имеющими противопожарных преград.

Данная особенность музея позволяет посетителям беспрепятственно перемещаться между зданиями музея, однако это затрудняет учет количества посетителей в одном конкретном здании.

Важно проанализировать периоды, в которые возможно массовое скопление на объекте людей (например, летом, в дни школьных каникул, государственных праздников, при проведении выставок и т. п.), в особенности детей различного возраста. Для такого анализа может быть использована статистика посещения музеев (рис. 5 и 6).

На основании результатов такого анализа предусматривается усиление мероприятий по обеспечению безопасности и увеличение численности сотрудников государственной противопожарной службы и волонтеров, прошедших специальную подготовку в сфере пожарной безопасности.

Аналогичный анализ необходимо провести для маломобильных групп населения и иностранцев.

Выводы

Анализируя итоги тренировки по эвакуации, можно выделить следующие направления дальнейших исследований:

1) совершенствование методики определения индивидуального пожарного риска для объектов культурного наследия с учетом исследования особенностей процесса тренировки по эвакуации и охранного статуса объекта;

2) рассмотрение возможности включения в методику элементов вероятностного подхода к определению расчетных величин индивидуального пожарного риска, используемого в ряде международных нормативных документов;

3) для проведения анализа типовых вариантов объемно-планировочных и конструктивных решений для объектов культурного наследия введение классификации их элементов, являющихся предме-

том охраны, и разработка на ее основе возможных типовых систем противопожарной защиты;

4) отдельный анализ:

- различных групп людей (социальных, возрастных), в том числе детей различного возраста, иностранцев, а также категорий маломобильных людей, испытывающих затруднения при самостоятельном передвижении;
- допустимого количества посетителей для одномоментного пребывания во всем комплексе зданий с учетом наличия эвакуационных выходов в музее.

Для такого анализа могут быть использованы статистические данные по посещению музеев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луков А. В., Владимирова И. Л., Холщевников В. В. Комплексная оценка зданий-памятников истории и культуры на рынке недвижимости. — М. : АСВ, 2006. — 344 с.
2. Присадов В. И., Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Тихонова Н. В. Требуемый уровень пожарной безопасности музеев — объектов культурного наследия // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 42–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.
3. Еремина Т. Ю., Юг А. Некоторые аспекты основ подготовки методических рекомендаций по организации учебной эвакуации детей различного возраста // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 6–12. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.
4. Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. — М. : Всесоюзная академия архитектуры, 1938. — 72 с.
5. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1951. — 178 с.
6. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — М. : Стройиздат, 1979. — 374 с.
7. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1983. — 442 с.
8. Никонов С. А. Разработка мероприятий по организации эвакуации при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей на основе моделирования движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1985.
9. Самошин Д. А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре : дис. ... д-ра техн. наук — М., 2017. — 357 с.
10. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015). URL: <http://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 10.12.2018).
11. Fire protection in historical buildings and museums. Detection, alarming, evacuation, extinguishing. Siemens Switzerland Ltd., Building Technology Division, 2015.
12. Организация тренировок по эвакуации персонала предприятий и учреждений при пожаре и иных чрезвычайных ситуациях : методические рекомендации; утв. МЧС РФ 04.09.2007 № 1-4-60-10-19. URL: docs.cntd.ru/document/499005837 (дата обращения: 10.12.2018).
13. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.
14. Слюсарев С. В., Самошин Д. А. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
15. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Международная пожарная статистика Международной ассоциации пожарно-спасательных служб // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2016. — № 1(18). — С. 71–103.

16. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
17. Brunner J., Lewis D. Safe evacuation for students with disabilities // Principal Leadership. — 2004. — No. 5(4). — P. 65–66.
18. Hoffmann N., Steenbakkers P. Human touch // Fire Prevention Magazine and Fire Engineers Journal. — 2005. — No. 65(253). — P. 18–19.
19. Thompson P. A., Marchant E. W. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1995. — Vol. 24, Issue 2. — P. 131–148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p.
20. Proulx G. A stress model for people facing a fire // Journal of Environmental Psychology. — 1993. — Vol. 13, Issue 2. — P. 137–147. DOI: 10.1016/s0272-4944(05)80146-x.
21. Heliövaara S. Computational models for human behavior in fire evacuations. Math. Sci. Thesis. — Helsinki : Helsinki University of Technology, 2007.
22. Yoon Thomas. Fire evacuation drill with a difference. URL: <http://www.articlesfactory.com/articles/technology/fire-evacuation-drill-with-a-difference.html> (дата обращения: 10.12.2018).
23. Hill Bryan. Creating an effective fire evacuation plan. URL: <http://www.articlesfactory.com/articles/business/creating-an-effective-fire-evacuation-plan.html> (дата обращения: 10.12.2018).

REFERENCES

1. A. V. Lukov, I. L. Vladimirova, V. V. Kholshchevnikov. *Kompleksnaya otsenka zdaniy-pamyatnikov istorii i kul'tury na rynke nedvizhimosti* [Comprehensive assessment of buildings, monuments of history and culture in the real estate market]. Moscow, ASV Publ., 2006. 344 p. (in Russian).
2. V. I. Prisdakov, T. Yu. Eremina, A. V. Bogdanov, O. V. Sushkova, N. V. Tikhonova. Required fire safety level for museums — cultural heritage objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 42–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.
3. T. Yu. Eremina, A. Jug. Some aspects of evaluation guidelines on evacuation training for variously-aged children. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 6–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.
4. S. V. Belyaev. *Evakuatsiya zdaniy massovogo naznacheniya* [Evacuation of buildings for mass assignment]. Moscow, All-Union Academy of Architecture Publ., 1938. 72 p. (in Russian).
5. A. I. Milinskiy. *Investigation of the process of evacuation of buildings of mass assignment*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1951. 178 p. (in Russian).
6. V. M. Predtechenskiy, A. I. Milinskiy. *Proyektirovaniye zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov* [Building design with regard to people stream movement]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 374 p. (in Russian).
7. V. V. Kholshchevnikov. *Human flows in buildings, structures and on adjoining territories*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1983. 442 p. (in Russian).
8. S. A. Nikonov. *Development of activities for organization of evacuation in case of fire in buildings with a massive stay of people, based on human traffic simulation*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1985 (in Russian).
9. D. A. Samoshin. *Methodological basis of regulation of safe evacuation of people from buildings in case of fire*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 2017. 357 p. (in Russian).
10. *Procedure for fire risk determining in buildings and structures of different fire danger*. Order of Emercom of Russian on 30 June 2009 No. 382 (ed. on 2 December 2015) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12169057/> (Accessed 10 December 2018).
11. *Fire protection in historical buildings and museums. Detection, alarming, evacuation, extinguishing*. Siemens Switzerland Ltd., Building Technology Division, 2015.
12. *Organization of fire and other emergency evacuation training for personnel of enterprises and institutions. Guidelines* (in Russian). Available at: docs.cntd.ru/document/499005837 (Accessed 10 December 2018).
13. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, M. P. Grigoryeva. Major fire risks analysis in the countries of the world and in Russia. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.
14. S. V. Slyusarev, D. A. Samoshin. Parameters of the movement children with limited mobility for definition of an evacuation time estimate from buildings with their mass stay. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.

15. N. N. Brushlinskij, S. V. Sokolov. International fire statistics the International Association of Fire and Rescue Services. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii / Bulletin of Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia*, 2016, no. 1(18), pp. 71–103 (in Russian).
16. P. Thompson, D. Nilsson, K. Boyce, D. McGrath. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
17. J. Brunner, D. Lewis. Safe evacuation for students with disabilities. *Principal Leadership*, 2004, no. 5(4), pp. 65–66.
18. N. Hoffmann, P. Steenbakkers. Human touch. *Fire Prevention Magazine and Fire Engineers Journal*, 2005, no. 65(253), pp. 18–19.
19. P. A. Thompson, E. W. Marchant. A computer model for the evacuation of large building populations. *Fire Safety Journal*, 1995, vol. 24, issue 2, pp. 131–148. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00019-p.
20. G. Proulx. A stress model for people facing a fire. *Journal of Environmental Psychology*, 1993, vol. 13, issue 2, pp. 137–147. DOI: 10.1016/s0272-4944(05)80146-x.
21. S. Heliövaara. *Computational models for human behavior in fire evacuations*. Math. Sci. Thesis. Helsinki, Helsinki University of Technology, 2007.
22. Thomas Yoon. *Fire evacuation drill with a difference*. Available at: <http://www.articlesfactory.com/articles/technology/fire-evacuation-drill-with-a-difference.html> (Accessed 10 December 2018).
23. Bryan Hill. *Creating an effective fire evacuation plan*. Available at: <http://www.articlesfactory.com/articles/business/creating-an-effective-fire-evacuation-plan.html> (Accessed 10 December 2018).

*Материал поступил в редакцию 18 мая 2018 г.
Received May 18, 2018*

Информация об авторах

ЕРЕМИНА Татьяна Юрьевна, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории испытаний строительных материалов, конструкций и огнезащитных составов, Институт комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: main@stopfire.ru

БОГДАНОВ Алексей Валентинович, канд. техн. наук, доцент, заместитель генерального директора по эксплуатации, Государственный Эрмитаж, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: bogdanov@hermitage.ru

СУШКОВА Ольга Владимировна, начальник сектора пожарной безопасности, Государственный Эрмитаж, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: sushkova@hermitage.ru

ЮГ Алеш, доцент Беккер Колледж, Ворчестер, Массачусетс, США; председатель рабочей комиссии по предотвращению пожаров CTIF (Международная ассоциация пожарных и спасателей) (<http://www.ctif.org/index.php/commissions-and-groups/fire-prevention>); президент комиссии по предотвращению пожаров Ассоциации пожарных Словении; д-р техн. наук, факультет мореходства и транспорта, Университет Любляны, Порторож, Любляна, Словения

Information about the authors

Tatyana Yu. EREMINA, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher of Testing Laboratory for Materials, Constructions and Fire-Proof Compositions, Institute of Integrated Safety and Security in Building Industry, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; e-mail: main@stopfire.ru

Alexey V. BOGDANOV, Deputy Director General on Operations, The State Hermitage Museum, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: bogdanov@hermitage.ru

Olga V. SUSHKOVA, Head of Fire Safety Department, The State Hermitage Museum, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: sushkova@hermitage.ru

Ales JUG, Associate Professor, Becker College, Worcester, Massachusetts, USA; Chairman of Working Committee on Fire Prevention CTIF (International Association of Firefighters and Rescuers) (<http://www.ctif.org/index.php/commissions-and-groups/fire-prevention>); President of Fire Prevention Commission of Association of Firefighters of Slovenia; Doctor of Technical Sciences, Faculty of Navigation and Transport, University of Ljubljana, Portoroz, Ljubljana, Slovenia

Сравнительный анализ нормативных требований по пожарной безопасности при проектировании лечебных учреждений в России и в Италии

© М. В. Медяник¹, О. С. Зосимова²✉

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Россия, 127994, г. Москва, ул. Садовая-Самотечная, 10, стр. 1)

РЕЗЮМЕ

Введение. Проектирование лечебных учреждений в Российской Федерации осуществляется с учетом требований Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”, а также Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. В Италии технические правила пожарной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации государственных и частных медицинских учреждений утверждены Указом Министерства внутренних дел Италии от 18.09.2002 г. № 227. Целью настоящей статьи является изучение итальянских норм проектирования лечебных учреждений для проведения сравнительного анализа с российской нормативной базой в части обеспечения пожарной безопасности объектов здравоохранения.

Методы. Проведен сравнительный анализ основных положений и целей документов технического регулирования в области пожарной безопасности и общих принципов обеспечения пожарной безопасности в Италии и России.

Результаты. Необходимо отметить, что правила пожарной безопасности, утвержденные Указом № 227, не содержат конкретного понятия “эвакуация” и не описывают ее характеристики. В ФЗ № 123 достаточно подробно раскрываются как понятие эвакуации, так и ее характеристики. Требования, установленные итальянскими строительными нормами к показателям огнестойкости строительных конструкций, практически совпадают с отечественными требованиями пожарной безопасности по огнестойкости.

Выводы. Несмотря на комплексный характер системы обеспечения пожарной безопасности зданий, включающей в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты и организационно-технические мероприятия, следует отметить схожесть принципов и подходов в обеспечении пожарной безопасности как в российских нормах, так и в итальянских правилах проектирования. Имеющиеся отличия обусловлены, по мнению авторов, климатическими, социально-экономическими и, возможно, научными и культурными аспектами, влияющими на принятие решений нормотворческими организациями и объединениями.

Ключевые слова: эвакуация; пожарный отсек; чрезвычайная ситуация; эвакуационные пути; правила проектирования.

Для цитирования: Медяник М. В., Зосимова О. С. Сравнительный анализ нормативных требований по пожарной безопасности при проектировании лечебных учреждений в России и в Италии // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 67–74. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.67-74.

✉ Зосимова Олеся Сергеевна, e-mail: cheptsovaos@mail.ru

Relative analysis of normative requirements for fire safety in the design of medical institutions in Russia and in Italy

© М. В. Medyanik¹, О. С. Zosimova²✉

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Ministry of Construction and Housing and Communal Services of Russian Federation (Sadovaya-Samotechnaya St., 10/23, Moscow, 127994, Russian Federation; e-mail: cheptsovaos@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. Design of medical institutions in the Russian Federation is carried out taking into account requirements of the Federal law of 30 December 2009 No. 384 “Technical regulations on safety of buildings and constructions”, and also the Federal law of 22 July 2008 No. 123 “Technical regulations on requirements of fire safety”. In Italy, the technical regulations on fire safety in the design, construction and operation of public and private medical institutions were approved by Decree No. 227 of 18 September 2002 of the Ministry of Internal. The purpose of this article is to study the Italian design standards of medical institutions for comparative analysis with the Russian regulatory framework in terms of fire safety of health facilities.

Methods. A comparative analysis of the main provisions and objectives of the documents of technical regulation in the field of fire safety and general principles of fire safety in Italy and Russia.

Results. It should be noted that the fire safety regulations approved by Decree No. 227 do not contain a specific concept of “evacuation” and do not describe its characteristics. In Federal law No. 123, both the concept of evacuation and its characteristics are disclosed in sufficient detail. The requirements established by the Italian building codes for fire resistance of building structures, practically coincide with the domestic fire safety requirements for fire resistance.

Conclusion. Despite the complex nature of the system of fire safety of buildings, including fire prevention system, fire protection system and organizational and technical measures, it should be noted the similarity of principles and approaches in ensuring fire safety both in Russian standards and in the Italian design rules. The differences are due, in the authors’ opinion, to climatic, socio-economic and, possibly, scientific and cultural aspects that influence the decision-making of standard-setting organizations and associations.

Keywords: evacuation; fire compartment; emergency; evacuation routes; design rules.

For citation: M. V. Medyanik, O. S. Zosimova. Relative analysis of normative requirements for fire safety in the design of medical institutions in Russia and in Italy. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 67–74 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.67-74.

✉ Olesya Sergeevna Zosimova, e-mail: cheptsovaos@mail.ru

Введение

Проектирование лечебных учреждений в Российской Федерации осуществляется с учетом требований Федерального закона № 384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” (далее — ФЗ № 384) [1], а также Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ № 123) [2], которые определяют основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и общие принципы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений различного класса функциональной пожарной опасности.

В Италии технические правила пожарной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации государственных и частных медицинских учреждений утверждены Указом Министерства внутренних дел Италии № 227 от 18.09.2002 г. (далее — Указ № 227). Указ № 227 направлен на принятие положения о пожарной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов здравоохранения в зависимости от типа предоставляемых услуг:

а) объектов, которые предоставляют стационарные услуги в непрерывном цикле и/или в дневное время;

б) объектов, которые предоставляют круглосуточные услуги с пребыванием в стационаре при непрерывном цикле и/или в дневное время;

в) объектов, которые предоставляют специализированные услуги медицинской помощи в амбулаторных условиях, в том числе по реабилитации.

Основные задачи Указа № 227 заключаются в сохранении безопасности людей и защите имущества от пожара в медицинских учреждениях и достигаются путем:

а) сведения к минимуму причин возникновения пожара;

б) обеспечения устойчивости несущих конструкций при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС);

в) ограничения развития и распространения пожара внутри помещения;

г) ограничения распространения пожара на соседние здания и сооружения;

д) обеспечения эвакуации людей из здания как самостоятельно, так и с помощью вспомогательных средств [3];

е) обеспечения безопасной работы спасательных служб.

Ст. 4 Указа № 227 по содержанию дублирует ч. 3 ст. 80 ФЗ № 123 [2], которая гласит, что при изменении функционального назначения зданий, сооружений или отдельных помещений в них, а также при изменении объемно-планировочных и конструктивных решений должно быть обеспечено выполнение требований пожарной безопасности, установленных в соответствии с ФЗ № 123 [2] применительно к новому назначению этих зданий, сооружений или помещений.

Целью настоящей статьи является изучение итальянских норм проектирования лечебных учреждений для проведения сравнительного анализа с российской нормативной базой в части обеспечения пожарной безопасности объектов здравоохранения.

Приведем некоторые термины и определения из Указа № 227:

а) *тупиковый коридор*: часть коридора, из которого человек может двигаться в одном направлении. Длина тупикового коридора должна рассчитываться с момента начала движения до конца коридора, из которого возможна эвакуация в двух направлениях — к лестнице вниз или до безопасного места (*понятие тупикового коридора в отечественных нормах не установлено*);

б) *безопасная зона*: отсек, в который человек перемещается, пока пожар не потушен или пока у него не появится возможность приступить к последующей эвакуации в безопасное место (согласно ФЗ № 123 [2] “безопасная зона — зона, в которой люди защищены от воздействия опасных факторов пожара или в которой опасные факторы пожара отсутствуют либо не превышают предельно допустимых значений”);

в) *внешняя зона безопасности*: зона снаружи, оборудованная перилами и построенная в соответствии с установленными критериями (в Италии климатические условия существенно отличаются от российских, в связи с чем данное требование для России неактуально).

Первое, что необходимо отметить, Указ № 227 не содержит конкретного понятия “эвакуация” и не описывает ее характеристики. В ФЗ № 123 [2] достаточно подробно раскрываются как понятие эвакуации, так и ее характеристики.

Классификация зданий и помещений в области здравоохранения

Согласно требованиям пожарной безопасности итальянских нормативных документов, содержащимся, в частности, в Указе № 227, помещения и здания, относящиеся к объектам здравоохранения, классифицируются следующим образом:

- тип А — помещения и сооружения, использование которых связано с конкретной узкой жилищно-коммунальной деятельностью (например, котельные, генераторы, гаражи и т. д.);
- тип В — помещения, доступ к которым обеспечивается только для сотрудников (например, научно-исследовательские лаборатории, склады, прачечные и т. д.) и которые расположены в зданиях типа С и D;
- тип С — здания, предназначенные для медицинских услуг (например, амбулаторные, поликлиники, специализированные центры, диагностические центры, клиники и т. д.), в которых не предусмотрена “запланированная госпитализация”;
- тип D — отделения, куда поступают на стационарное лечение (например, отделения интенсивной терапии, неонатологии, реанимации, операционные залы);
- тип E — помещения, предназначенные для других нужд (например, административные офисы, конференц-залы, столовая, места для посетителей, включая ограниченные торговые площади).

В России на добровольной основе [4] действует СП 158.13330.2014 [5], однако в нем, несмотря на наличие отдельного раздела по пожарной безопасности, отсутствует детальная классификация помещений и объектов здравоохранения с точки зрения

идентификации по пожарной безопасности. В СП 158.13330.2014 [5] и ФЗ № 123 [2] все помещения подразделяются в зависимости от происходящих в них функциональных процессов, а в целом, согласно общепринятой строительной классификации, — на основные, вспомогательные, обслуживающие, технические или коммуникационные.

В зданиях лечебных учреждений в России, в частности, согласно требованиям СП 158.13330.2014 [5] выделяют следующие группы помещений:

- палаты (отделения новорожденных, палаты для рожениц);
- помещения, общие для всех зданий (гинекологическое отделение, УЗИ-кабинет и т. д.);
- специальные по назначению помещения;
- административно-хозяйственные помещения (регистратура, молочная кухня и т. д.).

Расположение зданий и параметры подъезда к ним

Для обеспечения работы итальянских пожарно-спасательных служб параметры доступности к зданиям должны отвечать следующим минимальным требованиям:

- ширина проезда к зданию не менее 3,50 м (согласно СП 4.13130.2013 [6] она зависит от высоты здания);
- высота сквозного проезда (арки) к зданию не менее 4 м (согласно СП 4.13130.2013 [6] — 4,5 м);
- радиус поворота для пожарных автомобилей не менее 13 м (согласно СП 4.13130.2013 [6] — 12 м);
- уклон проездов для пожарных автомобилей не более 10 % (согласно СП 4.13130.2013 [6] — не более 6 %);
- нагрузки на дорожные покрытия, предназначенные для проезда пожарных автомобилей, не менее 20 т, из них 8 т — для передней оси пожарного автомобиля и 12 т — для задней (согласно СП 4.13130.2013 [6], как правило, 16 т на ось).

Строительные конструкции

Строительные конструкции согласно Указу № 227 должны соответствовать следующим требованиям по огнестойкости:

- в подвалах — R/REI 120 ;
 - в зданиях высотой до 24 м — R/REI 90;
 - в зданиях высотой свыше 24 м — R/REI 120,
- где R — потеря несущей способности; E — потеря целостности; I — потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений.

Требования, установленные итальянскими строительными нормами к показателям огнестойкости

строительных конструкций, практически совпадают с отечественными требованиями пожарной безопасности по огнестойкости.

Материалы

Материалы, используемые в итальянских лечебных учреждениях, должны соответствовать указанным ниже требованиям:

а) в вестибюлях, в коридорах, на лестницах возможно использование материалов 1-го класса на площади, составляющей 50 % их общей площади (пол + стены + потолок + перила). Остальные материалы должны быть 0-го класса (негорючие) (согласно ФЗ № 123 [2] не допускается использование горючих материалов для отделки стен и потолков вестибюлей, лестничных клеток, лифтовых холлов в лечебных учреждениях);

б) во всех других помещениях материалы должны быть не ниже 2-го класса, если в наличии имеется автоматическая система пожаротушения или система обнаружения дыма (согласно ФЗ № 123 [2] не допускается учитывать при выборе материалов отделки наличие систем пожаротушения и дымоудаления), и т. д.

С учетом предусмотренных в подп. “а” ограничений возможно устройство подвесных потолков, а также покрытий из изоляционных материалов при условии, что их класс пожароопасности не выше 1-го и они утверждаются с учетом реальных условий применения в отношении возможных источников зажигания (допускается проведение натурных испытаний при несоответствии требованиям).

Пожарные отсеки

Требования Указа № 227, помимо всего прочего, направлены также на ограничение распространения пожара. С этой целью в медицинских учреждениях должны быть соблюдены требования, изложенные ниже.

Здания типа С должны быть разделены на отсеки, расположенные на одном и том же этаже, площадью не более 1500 м² (согласно СП 2.13130.2012 [7] — не более 1000 м²).

Отделения типа D должны быть разделены на отсеки, расположенные на одном и том же этаже, площадью не более 1000 м² (согласно СП 2.13130.2012 [7] — не более 800 м²).

Помещения типа E должны быть разделены на пожарные отсеки для женщин (в СП 2.13130.2012 [7] данные требования не установлены).

Отсеки отделений типа D (не более одного помещения отделения реанимации, интенсивной терапии, неонатологии, операционные залы и т. д.) и E (конференц-залы и столовая) могут соединяться с другими отделениями с помощью горизонтальных

и вертикальных путей эвакуации (у нас объединение помещений разрешается строго в отдельный пожарный отсек) (согласно СП 2.13130.2012 [7] не допускается объединение отсеков).

Расположение помещений

Помещения, расположенные на высоте от –7,5 до –10 м и ниже первого этажа (подвал), должны быть защищены автоматической системой пожаротушения (в СП 5.13130.2009 [8] данное требование не установлено).

Подвальные помещения не предназначены для проживания (данное требование совпадает с требованием СП 4.13130.2013 [6]).

Итальянские и российские нормы схожи в следующих положениях:

- лаборатории и помещения с научным оборудованием могут быть расположены в подвалах при условии, что они отделены друг от друга фильтрами от дыма;
- помещения с оборудованием, предназначенным для высокой энергии, не могут быть смежными с отделениями типа D.

Лестницы

Отечественные нормы проектирования лестниц и итальянские различаются в следующих положениях.

Лестницы в помещениях отделений типа D должны быть незадымляемыми (согласно СП 1.13130.2009 [9] в зданиях высотой до 28 м допускается для эвакуации людей проектировать обычные лестничные клетки).

Лестничные марши должны быть прямыми, иметь не менее трех ступеней и не более 15 (согласно СП 1.13130.2009 [9] — не более 16 ступеней).

Ступени должны быть прямоугольными и их параметры должны быть постоянными на всем марше: ширина — не менее 17 см, высота — не менее 30 см [3] (согласно СП 1.13130.2009 [9] соответственно 22 и 25 см).

Лестничные клетки без каких-либо вентиляционных отверстий на внешней стене должны быть оборудованы вентиляционными отверстиями площадью не менее 1 м², окна должны открываться вручную или автоматически с помощью системы обнаружения и оповещения о пожаре в непосредственной близости к лестнице (согласно СП 1.13130.2009 [9] площадь открываемых проемов должна быть не менее 1,2 м²).

Лифты

Итальянские нормативные документы устанавливают, что во время пожара пользоваться лифтами запрещается, за исключением медицинского персо-

нала и спасательных служб (ГОСТ Р 53296–2009 предписывает использование специально предусмотренных лифтов в случае возникновения пожара и только для пожарных подразделений).

Нижеперечисленные требования отечественных норм к лифтам схожи с требованиями Указа № 227.

Согласно СП 4.13130.2013 [6] здания типа D должны быть оборудованы как минимум одним лифтом для использования в случае пожара спасательными службами и персоналом.

Согласно ГОСТ Р 53296–2009 лифты должны отвечать следующим требованиям:

- лифтовой холл должен быть расположен в безопасной зоне;
- лифтовые шахты должны иметь предел огнестойкости не менее REI 120 и не менее двух источников электроснабжения;
- шахта должна быть защищена от действия огня, по крайней мере, в течение 120 мин;
- лифтовая кабина должна быть оснащена переговорным устройством для связи с оператором.

Площади помещений с учетом горизонтальной проекции человека

Помещения типа С проектируются с учетом площади горизонтальной проекции человека из расчета 0,1 чел./м², залы ожидания — 0,4 чел./м² (согласно СП 1.13130.2009 [9] — 0,5 чел./м²).

Параметры горизонтальных путей

Длина горизонтального пути, измеряемая от двери любого помещения, а также любого из пространств для общего пользования не может превышать 40 м до выхода в безопасную зону или непосредственно наружу (согласно СП 1.13130.2009 [9] допускается 60 м, но зависит от класса конструктивной пожарной опасности здания).

Допустимо проектирование тупиковых коридоров, но длиной не более 15 м (согласно СП 1.13130.2009 [9] — не более 30 м).

Ширина горизонтальных путей должна рассчитываться без учета длины шкафов с огнетушителями (аналогичное требование содержится и в СП 1.13130.2009 [9]).

Полы и ступени должны быть из материалов с нескользкой поверхностью.

Горизонтальные пути не должны быть оборудованы зеркалами, которые могут ввести в заблуждение при определении выхода (СП 1.13130.2009 [9] таких требований не содержит).

На каждом этаже здания должно быть не менее двух выходов, расположенных в противоположных сторонах (аналогичное требование содержится и в СП 1.13130.2009 [9]).

Двери

Требования Указа № 227 устанавливают, что двери в открытом положении не должны препятствовать проходу (аналогичное требование содержится и в СП 1.13130.2009 [9]).

Двери устанавливаются вдоль эвакуационных путей и должны открываться наружу простым нажатием на них.

При необходимости, связанной с конкретными психофизиологическими характеристиками пациентов, в целях защиты от ненадлежащего использования выходов возможно в качестве альтернативы принятие безопасных систем управления открыванием дверей. В таких случаях весь медицинский персонал должен быть осведомлен о конкретной системе открытия дверей и иметь возможность использовать ее в чрезвычайных ситуациях (согласно СП 1.13130.2009 [9] не допускается применение таких дверей).

Помещения лабораторий, помещения, в которых используются радиоактивные вещества, прачечная, стерилизационная, котельная

Итальянские нормы проектирования указывают, что в связи с высоким уровнем риска помещения лабораторий, научно-исследовательских лабораторий, помещения, в которых используются радиоактивные вещества, прачечная, стерилизационная, котельная должны располагаться на достаточном расстоянии от помещений типа С и D. Такие помещения должны быть оборудованы отдельными дверями, оснащенными самозакрывающимися устройствами, и иметь предел огнестойкости REI 90 (согласно СП 2.13130.2012 [7] и СП 4.13130.2013 [6] допускается REI 60).

Прачечная и стерилизационная, если значения пожарной нагрузки в них превышают 30 кг/м², должны быть защищены системами автоматического пожаротушения (отечественные нормы не содержат таких жестких и, на наш взгляд, избыточных решений).

Средства пожаротушения

В соответствии с требованиями Указа № 227 все медицинские учреждения должны быть оснащены достаточным количеством переносных огнетушителей, равномерно распределенных в области защиты для обеспечения возможности быстрого использования их в случае пожара.

Огнетушители должны быть расположены в легкодоступных и видимых местах таким образом, чтобы расстояние, которое человек должен преодолеть до места их размещения, не превышало 30 м (оте-

чественные нормы не устанавливаются требований к расстоянию до места расположения огнетушителя).

Переносные огнетушители должны быть установлены из расчета, по крайней мере, по одному огнетушителю на каждые 100 м² помещения, но не менее двух на этаж (отечественные нормы устанавливают требования к площади помещения не менее 300 м²).

Системы внутреннего пожаротушения должны быть рассчитаны на время работы не менее 60 мин (согласно СП 10.13130.2009 [10] — не менее 3 ч).

Заключение

Несмотря на комплексный характер системы обеспечения пожарной безопасности зданий [11–14], включающей в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты [15, 16] и организационно-технические мероприятия, следует отметить схожесть принципов и подходов в обеспечении пожарной безопасности как в российских

нормах, так и в итальянских правилах проектирования.

Имеющиеся различия обусловлены, по мнению авторов, климатическими, социально-экономическими, а возможно, и научными, культурными аспектами, влияющими на принятие решений нормотворческими организациями и объединениями.

Авторы искренне убеждены, что подобное ознакомление с зарубежным опытом проектирования объектов здравоохранения и обеспечения пожарной безопасности является ценным научно-практическим опытом и будет способствовать дальнейшему развитию отечественной нормативной базы путем аккумулирования и синтеза положительных аспектов обеспечения пожарной безопасности, содержащихся в зарубежных источниках.

Полученные в ходе исследований результаты [17, 18] будут направлены на реализацию дополнительных гарантий безопасности сограждан и сохранения материальных ценностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 20.01.2019).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 25.01.2019).
3. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Modeling and reality of evacuation process // Proceedings of 13th International Conference “Interflam 2013”. — London, UK : Royal Holloway College, University of London, 2013. — P. 509–514. URL: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/Inter-Flam_2013_Samoshin_paper.pdf (дата обращения: 20.01.2019).
4. О внесении изменений в приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 марта 2015 г. № 365 “Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”: приказ Росстандарта от 10.05.2017 № 932 // Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. — 2017. — № 4.
5. СП 158.13330.2014. Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования (ред. от 16.12.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200110514> (дата обращения: 10.01.2019).
6. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 10.01.2019).
7. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (ред. от 23.10.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096437> (дата обращения: 10.01.2019).
8. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (ред. от 01.06.2011). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 10.01.2019).
9. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (ред. от 09.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071143> (дата обращения: 20.01.2019).
10. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности (ред. 09.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071153> (дата обращения: 10.01.2019).

11. *Fruin J. J.* Pedestrian planning and design. — New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. — 206 p.
12. *Pauls J. L.* Building Evacuation: Findings and Recommendations // *Fires and Human Behaviour* / D. Canter (ed.). — London : John Wiley, 1980. — P. 251–276.
13. *Kholshchevnikov V. V.* Forecast of human behavior during fire evacuation // *Emergency evacuation of people from buildings : Proceedings of International Scientific and Technical Conference*. — Poland, Warsaw, 2011. — P. 139–153.
14. *Корольченко Д. А., Холицевников В. В.* Дифференциация концепции системного подхода к анализу городской среды // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 44–51. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51.
15. *Korolchenko D., Tusnin A., Trushin S., Korolchenko A.* Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings // *International Journal of Applied Engineering Research*. — 2015. — Vol. 10, Issue 21. — P. 42541–42548.
16. *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.
17. *Kholshchevnikov V., Korolchenko D., Zosimova O.* Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions // *MATEC Web of Conferences*. — 2017. — Vol. 106, Article No. 01037. — 11 p. DOI 10.1051/mateconf/201710601037.
18. *Medyanik M., Zosimova O.* Key problems of fire safety enforcement in traffic and communication centers (TCC) // *IOP Conference series: Earth and Environmental Science*. — 2017. — Vol. 90, article no. 012151. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012151.

REFERENCES

1. *Technical regulation of buildings and structures safety*. Federal Law on 30 December 2009 No. 384-FZ (ed. on 2 July 2013) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (Accessed 20 January 2019).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22 July 2008 No. 123-FZ (ed. on 29 July 2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 25 January 2019).
3. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. Modeling and reality of evacuation process. In: *Proceedings of 13th International Conference “Interflam 2013”*. London, UK, Royal Holloway College, University of London, 2013, pp. 509–514. Available at: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/Inter-Flam_2013_Samoshin_paper.pdf (Accessed 20 January 2019).
4. On amendments to the order of the Federal Agency for technical regulation and Metrology on 30 March 2015 No. 365 “On approval of the list of documents in the field of standardization, as a result of the application of which on a voluntary basis is ensured compliance with the requirements of the Federal law on 30 December 2009 No. 384-FZ “Technical regulation of buildings and structures safety”. Order of Rosstandart on 10 May 2017 No. 932. *Normirovaniye, standartizatsiya i sertifikatsiya v stroitelstve / Regulation, Standardization and Certification in Construction*, 2017, no. 4 (in Russian).
5. Set of rules 158.13330.2014. *Buildings and rooms for health care facilities. Design rules* (ed. on 16 December 2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200110514> (Accessed 10 January 2019).
6. 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* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (Accessed 10 January 2019).
7. Set of rules 2.13130.2012. *Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units* (ed. on 23 October 2013) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200096437> (Accessed 10 January 2019).
8. Set of rules 5.13130.2009. *Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules* (ed. on 1 June 2011) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (Accessed 10 January 2019).
9. Set of rules 1.13130.2009. *The systems of fire protection. Evacuation ways and exits* (ed. on 9 December 2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071143> (Accessed 20 January 2019).

10. Set of rules 10.13130.2009. *Fire protection system. Fire line inside. Fire safety requirements* (ed. on 9 December 2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071153> (Accessed 10 January 2019).
11. J. J. Fruin. *Pedestrian planning and design*. New York, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., 1971. 206 p.
12. J. L. Pauls. Building Evacuation: Findings and Recommendations. In: D. Canter (ed.). *Fires and Human Behaviour*. London, John Wiley, 1980, pp. 251–276.
13. V. V. Kholshchevnikov. Forecast of human behavior during fire evacuation. In: *Emergency evacuation of people from buildings. Proceedings of International Scientific and Technical Conference*. Poland, Warsaw, 2011, pp. 139–153.
14. D. A. Korolchenko, V. V. Kholshchevnikov. Differentiation of the concept of system approach to the urban environment analysis. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 44–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51.
15. D. Korolchenko, A. Tusnin, S. Trushin, A. Korolchenko. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, issue 21, pp. 42541–42548.
16. D. A. Korolchenko, A. F. Sharovarnikov. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1070–1072, pp. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
17. V. Kholshchevnikov, D. Korolchenko, O. Zosimova. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, article no. 01037. 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
18. M. Medyanik, O. Zosimova. Key problems of fire safety enforcement in traffic and communication centers (TCC). *IOP Conference series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 90, article no. 012151. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012151.

Материал поступил в редакцию 25 января 2019 г.

Received January 25, 2019

Информация об авторах

МЕДЯНИК Михаил Валерьевич, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: mihalmed@yandex.ru

ЗОСИМОВА Олеся Сергеевна, консультант отдела архитектуры и типового проектирования Департамента градостроительной деятельности и архитектуры, Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: cheptsovaos@mail.ru

Information about the authors

Michael V. MEDYANIK, Senior Lecturer, Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; e-mail: mihalmed@yandex.ru

Olesya S. ZOSIMOVA, Consultant of Group of Architecture and Standart Design, Department of Urban Planning and Architecture, Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: cheptsovaos@mail.ru

Аргументированный ответ на замечания эксперта по положениям статьи “Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей”

© Д. Ф. Кожевин¹ (✉), В. Р. Новиков¹, А. С. Поляков¹, А. В. Клейменов²

¹ Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

² Департамент развития нефтепереработки и нефтехимии, Дирекция нефтепереработки ПАО “Газпром нефть” (190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, 3-5)

В 9-м номере журнала “Пожаровзрывобезопасность” за 2018 год было опубликовано мнение эксперта И. К. Бакирова по статье “Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей”. При изложении своей позиции уважаемый эксперт подменил ряд понятий, которые были обозначены в нашей статье, что может ввести читателя в заблуждение. Для устранения недопонимания мы сочли необходимым в настоящей статье дать следующий аргументированный ответ на замечания эксперта.

Экспертом был приведен ряд положений, которые в оригинальной статье отсутствовали. Например, указывалось на возможность в производственных зданиях образования “огненного шара”, хотя в соответствии с [1] “огненный шар — это крупномасштабное диффузионное горение, реализуемое при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара”, который в помещении реализоваться не может, и, конечно, в исходной статье авторы ни в коей мере не предлагали тушить “огненный шар” огнетушителем.

Однако основной причиной нашего решения написать ответ стал тезис эксперта о том, что “такого понятия, как постепенность охватывания, для нефтепродуктов вообще не должно быть, поскольку они **всегда** охватываются пламенем мгновенно или быстро”. Данный тезис проходит красной нитью через всю его статью и может ввести читателя в заблуждение. Хотелось бы предложить эксперту зажечь при комнатной температуре машинное масло, налитое в блюдце, и посмотреть, как данный нефтепродукт “мгновенно или быстро” будет охвачен пламенем.

Условия возникновения и характер распространения горения жидкости во многом определяются

ее свойствами. Здесь следует различать жидкости с низкими температурами вспышки (нагретые выше температуры вспышки) и жидкости с высокими температурами вспышки (нагретые ниже температуры вспышки) [2].

Жидкости с низкими температурами вспышки, содержащие летучие компоненты, представляют пожарную опасность уже при температуре окружающей среды. При этих условиях над поверхностью летучего нефтепродукта всегда присутствует пар, который на определенном расстоянии от зеркала жидкости образует однородные паровоздушные смеси по всей его площади. Первоначально возникает кинетическое горение подготовленной смеси, переходящее в диффузионное. Распространение пламени происходит по гомогенной смеси и ничем не отличается от горения газовой смеси. После того как подготовленная смесь сгорела, при интенсивности испарения, достаточной для поддержания горения, возникает диффузионное пламя [2].

Жидкости с высокими температурами вспышки — это жидкости, у которых горючая среда над поверхностью при температуре окружающей среды отсутствует. Она возникает постепенно, вследствие подогрева топлива непосредственно перед движущимся фронтом пламени. Первоначальный фронт пламени образуется в результате локального теплового воздействия. Распространение пламени по зеркалу жидкости до полного охвата его площади занимает время, которое складывается из времени, требуемого для нагрева поверхности до температуры вспышки, для дальнейшего прогрева ее до температуры воспламенения, и времени продвижения фронта по всей площади жидкости [2].

Исходная статья посвящена именно жидкостям, нагретым ниже температуры вспышки, для которых в методиках расчета пожарных рисков реализуется только пожар пролива. Например, при проливе дизельного топлива ДЛ с температурой вспышки 65 °С [3] в г. Санкт-Петербурге, где в соответствии

✉ Кожевин Дмитрий Федорович,
e-mail: yagmort_kdf@mail.ru

с [4] максимальная температура воздуха в наиболее теплый период года составляет 37 °С, паров над зеркалом жидкости недостаточно для воспламенения топлива при внесении в него источника зажигания. Однако если источник зажигания будет воздействовать на жидкость длительное время и часть ее прогреется до температуры вспышки и далее до температуры воспламенения, то пламя по зеркалу жидкости будет распространяться от места нагрева со скоростью, которая значительно меньше нормальной скорости распространения пламени по этой же жидкости, нагретой до температуры воспламенения. В этом случае, пока пламя не охватило всю площадь пролива, а горение происходит на площадях, соразмерных с площадями модельных очагов пожара для заданного огнетушителя, и возможно применение огнетушителей. Именно для таких жидкостей авторы и предлагали учитывать огнетушители при расчете пожарного риска, например, для резервуарных парков дизельных топлив, масел и т. д. И тем более авторы не предлагали применять огнетушители при тушении перегретых жидкостей (“при

авариях, связанных с проливом легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, для которых температура технологического процесса в производственном оборудовании выше температуры самовоспламенения жидкости”), пожары которых уважаемый эксперт приводит в заключение своего опуса.

Кроме того, авторы не согласны с экспертом в том, что “целесообразность применения огнетушителей объективно зависит **только** от площади пролива уже горящего нефтепродукта и опасности дальнейшего распространения огня, но никак не от свойств нефтепродукта и не от этапа развития пожара”. В соответствии с [5, ст. 2 п. 19] “первичные средства пожаротушения — средства пожаротушения, используемые для борьбы с пожаром *в начальной стадии* его развития”, а огнетушители относятся именно к первичным средствам пожаротушения [5, ст. 43].

Авторы искренне надеются на то, что эта статья устраним недопонимание между авторами и экспертом и позволит читателям объективно рассмотреть оригинальную статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 11.12.2018).
2. Малинин В. Р., Климкин В. И., Аникеев С. В., Коробейникова Е. Г., Винокурова Н. Г., Кожевникова Н. Ю., Мельник А. А., Родионов В. А. Теория горения и взрыва : учеб. для вузов. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2007. — 325 с.
3. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с изм. № 1, 2). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения 11.12.2018).
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изм. на 29.07.2017; в ред. 31.07.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения 11.12.2018).

Материал поступил в редакцию 12 декабря 2018 г.

Информация об авторах

КОЖЕВИН Дмитрий Федорович, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: yagmort_kdf@mail.ru

НОВИКОВ Владислав Романович, старший преподаватель кафедры специальной подготовки, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: novikovvt@mail.ru

ПОЛЯКОВ Александр Степанович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: poljakov_as@mail.ru

КЛЕЙМЕНОВ Андрей Владимирович, д-р техн. наук, начальник управления научно-технического развития, Департамент развития нефтепереработки и нефтехимии, Дирекция нефтепереработки ПАО “Газпром нефть”, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: kleymenov.av@gazprom-neft.ru

УДК 614.841/621.3.048

Нагревостойкость изоляции электроустановок

© А. С. Харламенков

Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

РЕЗЮМЕ

Указаны основные классы нагревостойкости изоляции. Рассмотрены основные требования нормативных документов к порядку выбора и эксплуатации различных изоляционных материалов. Отмечены особенности оценки степени разрушения изоляции под воздействием повышенных температур. Выполнено сопоставление классов изоляции, приведенных в различных действующих нормах. Представлены основные закономерности и примеры расчета времени старения изоляции.

Ключевые слова: пожарная безопасность; двигатели; электропроводка; температура; надежность.

Для цитирования: Харламенков А. С. Нагревостойкость изоляции электроустановок // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 77–79.

Heat resistance of electrical installations

© A. S. Kharlamenkov

State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The main classes of insulation resistance are indicated. The basic requirements of normative documents on the procedure for the selection and operation of a variety of insulating materials are considered. The features of the assessment of the degree of destruction of insulation from exposure to elevated temperatures are noted. Comparison of insulation classes according to active norms is carried out. The main regularities and examples of calculations of the insulation aging time are presented.

Keywords: fire safety; engines; wiring; temperature; reliability.

For citation: A. S. Kharlamenkov. Heat resistance of electrical installations. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 77–79 (in Russian).



ВОПРОС:

Согласно Прогнозу обстановки с пожарами в Российской Федерации на 2018 г. [1] отмечено снижение общего числа пожаров. В то же время прогнозируется рост числа пожаров вследствие нарушений устройства и эксплуатации электрооборудования. В первую очередь это касается проводов и кабелей, эксплуатационные показатели которых являются важной составляющей их безопасного использования. Среди них следует выделить срок службы электрической изоляции, который зависит не только от негативного влияния на покрытие проводников извне в виде воды, пыли или более агрессивных сред, но и от температурных режимов работы электропроводки.

Каким образом повышенная температура проводника и окружающей среды влияет на состояние изоляции и ее срок службы?

ОТВЕТ:

Достаточно давно известно негативное влияние высоких температур на состояние изоляции. Ее главным параметром является сопротивление, от которого зависит как срок службы самой электропроводки, так и вероятность возникновения пожароопасной ситуации.

Еще в 30-х годах XX века с появлением новых изоляционных материалов на основе силиконовой смолы была отмечена необходимость оценки скорости разрушения (старения) покрытий токоведущих жил проводов и кабелей. Для определения максимальных температурных режимов работы электропроводки и электрических машин в международных стандартах был введен термин “температурный (термический, тепловой) класс изоляции”, а в национальных стандартах — “класс нагревостойкости”. Под нагревостойкостью понимают способность электрического изоляционного материала (ЭИМ) длительно выдерживать определенные температуры без сокращения срока его службы. Для каждого вида ЭИМ определен термический класс, который обозначается буквами латинского алфавита или числовым значением, и соответствующая ему максимальная температура. Помимо ЭИМ, в стандартах используется другой термин — “электрическая изоляционная система” (ЭИС). Этот термин распространяется на электрические машины и аппараты, в состав которых входит несколько ЭИМ.

Существует несколько стандартов со схожей классификацией изоляции по термическим признакам. К ним относятся ГОСТ 8865–93 (МЭК 85-84) [2], международный стандарт IEC 60085:2007 (идентичный

Таблица 1. Температурные классы изоляционных материалов и систем

ГОСТ 8865–93 [2]	IEC 60085 [3]	NEMA MG-1 [4]	Максимально допустимая температура горящей точки (поверхности) $T_{\max}$, °C	Относительный температурный индекс ³ , °C
Класс нагревостойкости изоляции	Термический (температурный) класс ¹	Класс системы изоляции ²		
Y	Y	—	90	90–105
A	A	A	105	105–120
E	E	—	120	120–130
B	B	B	130	130–155
F	F	F	155	155–180
H	H	H	180	180–200
200	N	—	200	200–220
220	R	—	220	220–250
250	—	—	250 ⁴	> 250

¹ Буквенное обозначение класса может не указываться или добавляться в круглых скобках, например 180 (H) [3].

² Данная классификация распространяется на ЭИС электрических двигателей, работающих при температуре окружающей среды в диапазоне 0–40 °C.

³ Относительный температурный индекс (ОТИ) определяет температурные пределы, в которых не снижается изначально заложенный эксплуатационный показатель (срок службы) испытываемых образцов ЭИМ и ЭИС относительно эталонного. Как правило, за эталонный температурный индекс (ТИ) принимается срок службы изоляции 20 000 ч.

⁴ Для последующих классов температура $T_{\max}$, превышающая 250 °C, должна повышаться на 25 °C с присвоением соответствующего класса [2].

ГОСТ Р МЭК 60085–2011 [3]) и стандарт Национальной ассоциации производителей электрооборудования США (NEMA MG-1) [4]. Обобщенные сведения по температурным классам изоляции сведены в табл. 1.

При работе электроустановки в нормальном режиме, для которого рабочая температура ниже $T_{\max}$, срок службы ее изоляции может достигать 15–20 лет. Электропроводка и электрические машины не должны работать при температурах выше $T_{\max}$, так как каждое повышение температуры в среднем на 8 °C относительно $T_{\max}$ сокращает срок службы ЭИМ и ЭИС вдвое. Данное правило “восьми градусов” (формула Монтзингера) применяется для ЭИМ класса А (бумага, пряжа, шелк). Для класса В ближе значение 10 °C, а для класса Н — 12 °C [5]. Существует универсальное правило “пятнадцати градусов”, согласно которому при превышении температуры сверх допустимой на 15 °C срок службы изоляции любого класса уменьшается в $e = 2,72$ раза (основание натурального логарифма) [6].

Таблица 2. Коэффициент С для различных классов нагревостойкости

Класс нагревостойкости	A	E	B	F	H
Коэффициент С	25,1	25,1	25,3	29,7	34,2

Для оценки срока службы изоляции также используется формула Вант-Гоффа–Аррениуса, с помощью которой можно оценить время старения изоляции (скорость химической реакции) при различных температурных режимах. В общем виде зависимость выглядит следующим образом [5]:

$$\ln k = A + B/T,$$

где k — константа скорости химической реакции;

A, B — постоянные коэффициенты, характеризующие химический состав и структуру вещества, участвующего в реакции (табличные значения для каждого класса изоляции имеются в справочниках);

T — абсолютная температура.

После необходимых преобразований можно получить аналогичное уравнение, позволяющее определить срок службы изоляции τ_2 (ч) для требуемого превышения температуры над максимально допустимой $T_{\max}$ ($\Delta T = T - T_{\max}$) при известном сроке службы изоляции τ_1 конкретного класса:

$$\tau_2 = \tau_1 e^{\left(-C \frac{\Delta T}{T+273}\right)},$$

где C — безразмерный коэффициент, постоянный для каждого температурного класса изоляции (см. табл. 2 [6]).

Из вышесказанного следует, что температурные классы изоляции напрямую связаны со сроком службы электроустановок. Например, двигатель, работающий при $T = 185$ °C, будет иметь ориентировочный срок службы при $\tau_1 = 20\,000$ ч и классе изоляции:

- А — 250 ч;
- В — 950 ч;
- F — 2 850 ч;
- Н — 13 800 ч.

При оценке надежности работы электроустановок не всегда можно учесть все негативные факторы воздействия на изоляционный материал. Помимо термического разложения (пиролиза), к ним относятся гидролиз (обменные реакции с водой) и окисление под действием кислорода и других кислот. Следовательно, старение изоляции следует рассматривать как комплексный процесс, при котором важно опираться не только на расчеты, но и на опыт эксплуатации подобного рода изделий. Для новых видов ЭИМ и ЭИС следует пользоваться результатами испытаний отдельных образцов и расчетными оценками. Для экспресс-оценки времени “жизни” изоляции разработаны

специальные ускоренные испытания. Методы таких испытаний изложены в серии ГОСТ IEC 60034 [7] (отдельные части), международных стандартах серии IEC 60216 (ГОСТ 10518–88 [8], ГОСТ 27710–88 [9]) и IEC 60505 (ГОСТ 27905.1–88 [10]). Существует множество различных моделей старения изоляции (трех- и четырехпараметрические, модель “слабейшего звена” и др. [11]). Они позволяют оценить надежность и техническое состояние изоляции на протяжении всего времени эксплуатации оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз обстановки с пожарами в Российской Федерации на 2018 г., анализ обстановки с пожарами, предложения по улучшению обстановки с пожарами в Российской Федерации : информационно-аналитический материал. URL: <https://sites.google.com/site/statistika-pozaro/prognoz-obstanovki-s> (дата обращения: 05.01.2019).
2. ГОСТ 8865–93 (МЭК 85-84). Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. — Введ. 01.01.1995. — М. : Издательство стандартов, 1995.
3. ГОСТ Р МЭК 60085–2011. Электрическая изоляция. Классификация и обозначение по термическим свойствам. — Введ. 01.06.2012. — М. : Стандартинформ, 2012.
4. ANSI/NEMA MG 1-2016. Motors and generators. — Virginia, Rosslyn : National Electrical Manufacturers Association, 2016.

5. Ермолин Н. П., Жерихин И. П. Надежность электрических машин. — Л. : Энергия, 1976. — 248 с.

6. Федотов М. М., Лужнев А. И., Боев А. Е. Оценка сроков службы изоляции электрических машин // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. — 2011. — № 10(180). — С. 200–203.

7. ГОСТ IEC 60034-18-1–2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 18-1. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Общие требования. — Введ. 01.03.2016. — М. : Стандартинформ, 2015.

8. ГОСТ 10518–88. Системы электрической изоляции и другие полимерные системы. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость (ред. от 27.11.2012). — Введ. 01.01.1990. — М. : Издательство стандартов, 1988.

9. ГОСТ 27710–88 (СТ СЭВ 4127–83). Материалы электроизоляционные. Общие требования к методу испытания на нагревостойкость (ред. от 01.02.1989). — Введ. 01.01.1989. — М. : Издательство стандартов, 1989.

10. ГОСТ 27905.1–88 (МЭК 505–75). Системы электрической изоляции электрооборудования. Оценка и классификация. — Введ. 01.01.1990. — М. : Издательство стандартов, 1989.

11. Мартко Е. О. Модели надежности и технического состояния изоляции электродвигателей, используемые для прогнозирования выхода их из строя // *Ползуновский вестник*. — 2013. — № 4-2. — С. 138–142.

Материал поступил в редакцию 14 января 2019 г.

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru

УДК 614.844.2

Частные вопросы при проектировании водяных АУП

© Л. М. Мешман

Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны
МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха Московской обл., мкр. ВНИИПО, 12)

РЕЗЮМЕ

Рассмотрены основные принципиальные различия между коэффициентом производительности и K -фактором. Приведены формулы пересчета K -фактора, выраженные в американской и европейской системах единиц, в коэффициент производительности, используемый для определения параметров диктующего и последующих оросителей при гидравлических расчетах распределительных сетей АУП по методике, приведенной в СП 5.13130.2009. Описан алгоритм выбора на гидравлической схеме распределительных сетей АУП диктующего оросителя и диктующей защищаемой площади. Отмечена разница между нормативной, допустимой и средней интенсивностью орошения. Представлен характер вариации как общего расхода АУП, так и расхода каждого из оросителей, находящихся над защищаемой площадью, при их последовательной активации. Показано, что расход, а следовательно, и интенсивность орошения диктующего оросителя, если он сработал первым, в несколько раз больше расчетных значений. По мере активации последующих оросителей, находящихся над защищаемой площадью, расход снижается, и, когда срабатывает последний принятый в расчет ороситель, параметры диктующего и последующих оросителей становятся равными расчетным.

Ключевые слова: давление; расход; диктующий ороситель; интенсивность орошения; коэффициент производительности; K -фактор; диктующая защищаемая площадь; эпюра орошения.

Для цитирования: Мешман Л. М. Частные вопросы при проектировании водяных АУП // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 29, № 1. — С. 80–88.

Special issues on design water AFEI

© Л. М. Meshman

All-Russian Research Institute for Fire Protection
(12, VNIIPPO, Balashikha, Moscow Region, 143903)

ABSTRACT

The main principal differences between the coefficient of productivity and the K -factor are considered. The formulas for the conversion of the K -factor expressed in the American and European system of units in the coefficient of productivity used to determine the parameters of the dictating and subsequent irrigators in the hydraulic calculations of distribution networks AFEI (automatic fire extinguishing installation) by the method given in Set of rules 5. 13130.2009. The algorithm of selection of hydraulic scheme of distribution of networks AFEI dictates of the sprinkler and dictating the protected area. The difference between the normative, permissible and average intensity of irrigation is noted. The article presents the variation of both the total flow rate of the AFEI and the flow rate of each sprinkler located above the protected area with successive activation of the sprinklers. It is shown that the flow rate and, consequently, the intensity of irrigation of the dictating irrigator, if it was the first one, is several times higher than the calculated values. As the activation is the lasting of sprinklers located above the protected area, the flow rate is reduced and when triggered last adopted in the calculation of the sprinkler, the parameters dictating and subsequent sprinklers is equal to the estimated.

Keywords: pressure; flow rate; dictating irrigator; irrigation intensity; performance factor; K -factor; dictating protected area; irrigation diagram.

For citation: L. M. Meshman. Special issues on design water AFEI. *Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 80–88 (in Russian).



ВОПРОС 1:

Имеем: спринклерный ороситель типа TY365 с K -фактором $K = 80$, давление перед оросителем $P = 0,18$ МПа. Нужно определить расход огнетушащего вещества (ОТВ).

Согласно СП 5.13130.2009 расход ОТВ через диктующий ороситель q (л/с) вычисляется по формуле

$$q = 10K(P)^{0,5}, \quad (1)$$

где K — коэффициент производительности оросителя, принимаемый по технической документации на изделие, л/(с·м²);

P — давление перед оросителем, МПа.

Отсюда $q = 80(0,18)^{0,5} \sim 340$ л/с!!! Это нереальный расход. Тем не менее данная формула приведена в СП 5.13130.2009, а значит, все расчеты по методике этого стандарта ошибочны!?

ОТВЕТ:

Здесь мы имеем дело с довольно распространенной ошибкой начинающих и неопытных проектировщиков. Частично вину можно возложить и на некоторых производителей оросителей, которые в тех-

Таблица 1. Диапазон значений и особенность цифрового обозначения коэффициента производительности $K_{\text{рф}}$ и K -факторов при диаметрах выходного отверстия оросителей от 8 до 25 мм

Обозначение K по соответствующей системе стандартов	Значение K по соответствующей системе стандартов	Количество цифр в числовом значении K до запятой	Диапазон значений $K_{\text{рф}}$
$K_{\text{ISO}}, K_{\text{EN}}, K_{\text{LPS}}, K_{\text{VdS}}$	45,6–363,0	2–3 ($K \geq 40$)	0,24–1,91
K_{USA}	3,2–35,2	1–2 ($K \leq 40$)	0,24–1,91
$K_{\text{рф}}$	0,21–1,91	0–1 ($K \leq 2$)	0,21–1,91

нических паспортах или проспектах на оросители не указывают размерность K -фактора. Термин “ K -фактор” используется за рубежом при гидравлических расчетах распределительной сети АУП. Синонимом “ K -фактора” в отечественной практике по физической сущности, но не по размерности является коэффициент производительности.

Согласно международному стандарту ISO 6182-1 [1], европейскому стандарту EN 12259-1 [2], стандарту Великобритании Loss Prevention Standard (LPS) [3] и стандарту ФРГ Verband der Sachversicherere V. (VdS) [4] расход q определяется по формуле $K = q/P^{0,5}$ и выражается в л/мин, а давление P — в бар. Отсюда получаем размерность K -фактора (соответственно $K_{\text{ISO}}, K_{\text{EN}}, K_{\text{LPS}}, K_{\text{VdS}}$) л/(мин·бар^{0,5}).

По стандарту США Underwriters Laboratories Inc. (UL) [5] и Factory Mutual System (FM) [6] расход q в формуле $K = q/P^{0,5}$ выражается в галон/мин (1 галон = 3,785 л), а давление P — в psi (1 psi = 6,895 кПа). Тогда размерность K -фактора (K_{USA}) будет гал/(мин·psi^{0,5}). Согласно СП 5.13130.2009 [7] расход q в формуле $K = q/H^{0,5}$ выражается в л/с, давление H — в м вод. ст., а в формуле $K = 10q/(10P^{0,5})$ соответственно в л/с и МПа (1 МПа = 100 м вод. ст.). Размерность коэффициента производительности $K_{\text{рф}}$ в обоих случаях будет л/(с·м^{0,5}).

В связи с этим при гидравлических расчетах по СП 5.13130.2009 [7] значение коэффициента производительности в соответствии с приведенными выше международным, европейским и национальными стандартами необходимо принимать равным:

$$K_{\text{рф расч}} = K_{\text{ISO}}/190 = K_{\text{EN}}/190 = K_{\text{LPS}}/190 = K_{\text{VdS}}/190,$$

$$\text{или } K_{\text{рф расч}} = K_{\text{USA}}/13,2 = K_{\text{FM}}/13,2 = K_{\text{UL}}/13,2.$$

А можно ли определить, к какой системе стандартов (международной, европейской или национальной) относится коэффициент производительности или K -фактор, если его размерность не указана?

Да, это определить несложно, если воспользоваться сведениями, приведенными в табл. 1.

Таким образом, спринклерный ороситель типа ТУ365 с K -фактором $K = 80$ соответствует $K_{\text{ISO}}, K_{\text{EN}}, K_{\text{LPS}}, K_{\text{VdS}}$ и имеет размерность л/(мин·бар^{0,5}).

Тогда можно рассчитать $K_{\text{рф}}$:

$$K_{\text{рф расч}} = K_{\text{ISO}}/190 = 80/190 = 0,42 \text{ л/(с·м}^{0,5}\text{)}.$$

Если сравнить расход оросителя модели СВВ-12 или СВН-12 Бийского ЗАО “ПО “Спецавтоматика” с коэффициентом производительности $K_{\text{рф}} = 0,42 \text{ л/(с·м}^{0,5}\text{)}$ с расходом универсального оросителя модели ТУ365 фирмы ТУСО с коэффициентом производительности $K_{\text{ISO}} = 80 \text{ л/(мин·бар}^{0,5}\text{)}$, то их расход при том же давлении 0,18 МПа (18 м вод. ст.) составит:

$$q_{\text{рф}} = 10K(P)^{0,5} = 10 \cdot 0,42(0,18)^{0,5} \sim 1,78 \text{ л/с},$$

или

$$q_{\text{ISO}} = K(P)^{0,5} = 80(1,8)^{0,5} \sim 107,3 \text{ л/мин} = 1,79 \text{ л/с}.$$



ВОПРОС 2:

В проекте новой редакции СП 5.13130 (п. В.1.1.8) предлагается для гидравлического расчета распределительной сети выделить на плане или гидравлической схеме АУП диктующую защищаемую орошаемую площадь, на которой расположен диктующий ороситель. За площадь орошения оросителя с интенсивностью орошения не менее нормативной принимается квадрат с длиной стороны: 4 м — $S = 4 \times 4 = 16 \text{ м}^2$;

3 м — $S = 3 \times 3 = 9 \text{ м}^2$ и т. д.

Что делать с этим квадратом? Причем здесь квадрат, если известно, что нормативная интенсивность орошения оросителем должна обеспечиваться на площади круга (радиусом 2 м) $S = 12 \text{ м}^2$?

ОТВЕТ:

Все оросители сертифицируют по ГОСТ Р 51043.2002 [8]. Основные гидравлические параметры оросителей типа СВН и СВВ (интенсивность и равномерность орошения) при сертификационных испытаниях измеряют на приведенной круглой площади $\sim 12 \text{ м}^2$, т. е. при диаметре $D \sim 4 \text{ м}$. Вследствие этого в заводском техническом паспорте на ороситель указывают площадь орошения также 12 м^2 . При этом в пределах этой площади средняя интенсивность орошения должна быть не менее нормативной.

Допустим, необходимо провести гидравлический расчет спринклерной АУП для распределительной сети помещения, относящегося к группе помещений 1 по СП 5.13130.2009 [7]. Нормативная площадь должна быть не менее 60 м^2 . С учетом архитектурных и объемно-планировочных особенностей защищаемого

помещения принимаем сетку расстановки оросителей с расстоянием в рядке L_{op} и между рядками L_p . Согласно СП 5.13130.2009 (табл. 5.1) [7] максимальное расстояние между оросителями не должно превышать 4 м. Минимальное расстояние между спринклерными оросителями в зависимости от высоты монтажа не рекомендуется принимать менее 2,0–2,5 м. Минимальное расстояние между дренчерными оросителями не регламентируется.

Сетка расстановки оросителей может быть как квадратной, так и прямоугольной. Например, при квадратной площади при $L_{op} = L_p = 3$ или 4 м условная расчетная площадь орошения, приходящаяся на один ороситель, составляет соответственно $\Omega = 3 \times 3 = 9 \text{ м}^2$ или $\Omega = 4 \times 4 = 16 \text{ м}^2$, а при прямоугольной — $\Omega = L_{op} \times L_p = 4 \times 3 \text{ м} = 12 \text{ м}^2$ или $\Omega = L \times B = 3,5 \times 2,5 = 8,75 \text{ м}^2$ и т. д.

Расстояние от оросителей до стен помещений группы 1 согласно СП 5.13130.2009 (табл. 5.1) [7] должно составлять не более половины нормативного максимального расстояния между спринклерными оросителями. При $\Omega = 4 \times 3 = 12 \text{ м}^2$ и $\Omega = 4 \times 4 = 16 \text{ м}^2$ это расстояние принимают равным 2 м, а при $\Omega = 3 \times 3 = 9 \text{ м}^2$ и $\Omega = 3,5 \times 2,5 = 8,75 \text{ м}^2$ — 1,5 и 1,75 м и т. д.

Определим местоположение диктующего оросителя. Предварительно наметим место положения проблемной диктующей защищаемой орошаемой зоны* площадью S_A не менее нормативной площади, т. е. $S_A \geq S_{норм} = 60 \text{ м}^2$, на которой расположены наиболее удаленные от водопитателя оросители, в том числе диктующий ороситель 1 (рис. 1).

Если защищаемая нормативная площадь составляет $S_{норм} = 60 \text{ м}^2$ и $\Omega = L_{op} \times L_p = 4 \times 4 \text{ м}^2$, то длина рядка $L_A = 16 \text{ м}$, а диктующая защищаемая площадь $S_A = 64 \text{ м}^2$, и на этой площади будет размещено четыре оросителя (1–4). Если $\Omega = L_{op} \times L_p = 3 \times 4 = 12 \text{ м}^2$ или $\Omega = L_{op} \times L_p = 4 \times 3 = 12 \text{ м}^2$, то длина рядка или длина участка составит также 16 м, а $S_A = 64 \text{ м}^2$, но на этой площади будет расположено уже пять оросителей (1–5).

Таким образом, на фактической защищаемой орошением диктующей площади при прямоугольной сетке может располагаться разное количество оросителей.

В общем случае количество оросителей N , расположенных на диктующей защищаемой площади по квадратной сетке и обеспечивающих фактический расход спринклерной АУП с интенсивностью орошения не менее нормативной, определяют по формуле

$$N \geq S_{норм} / \Omega,$$

где N — минимальное количество оросителей, расположенных в фактической защищаемой орошением диктующей зоне и обеспечивающих нормативный рас-

* Выбор места положения проблемной диктующей защищаемой орошаемой площади S_A подробно описан в ответе на вопрос 3.

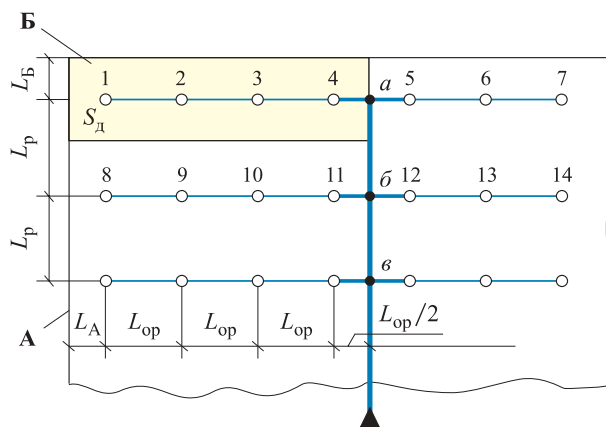


Рис. 1. План расположения оросителей (1–14) на распределительной сети: L_{op} — расстояние между оросителями в рядке; L_p — расстояние между рядками; L_A — расстояние от крайних оросителей до стены А ($L_A \leq L_{op}/2$); L_B — расстояние от наиболее удаленного рядка до стены Б ($L_B = L_p/2$); S_A — диктующая защищаемая площадь

ход водяной или пенной АУП с интенсивностью орошения не менее нормативной;

$S_{норм}$ — минимальная нормативная площадь орошения АУП, приведенная в табл. 5.1 СП 5.13130.2009 [7], м^2 ;

Ω — условная расчетная площадь орошения с интенсивностью орошения не менее нормативной, приходящаяся согласно сетке распределительной сети на один ороситель, м^2 .

Если частное получается дробным, то его следует округлить до целого в большую сторону, независимо от значения остатка и, соответственно, откорректировать значение защищаемой орошаемой площади.



ВОПРОС 3:

Как выбрать диктующий ороситель, понятно: наиболее высоко расположенный и/или наиболее удаленный от насосной установки. Но каким образом на гидравлической схеме распределительной сети выбрать диктующую защищаемую площадь: принимать в один или более рядков оросителей по горизонтали или по вертикали? Можно ли определить место положения этой площади без сравнительных расчетов?

ОТВЕТ:

Допустим, что защищаемое помещение относится по СП 5.13130.2009 [7] к группе помещений 1. Для этой группы нормативная защищаемая площадь должна быть $S_{норм} \geq 60 \text{ м}^2$, коэффициент производительности оросителя $K = 0,42 \text{ л/(с·м}^{0,5})$, интенсивность орошения диктующего оросителя $i_A \geq 0,08 \text{ л/(с·м}^2)$, расстояние между оросителями и рядками $L_{op} = L_p = 4 \text{ м}$, диаметр трубопроводов во всех рядках DN 25, а диаметр питающих трубопроводов DN 40, удельное сопротивление трубопровода А составляет соответственно 0,306 и 0,0312 $\text{с}^2/\text{л}^2$.

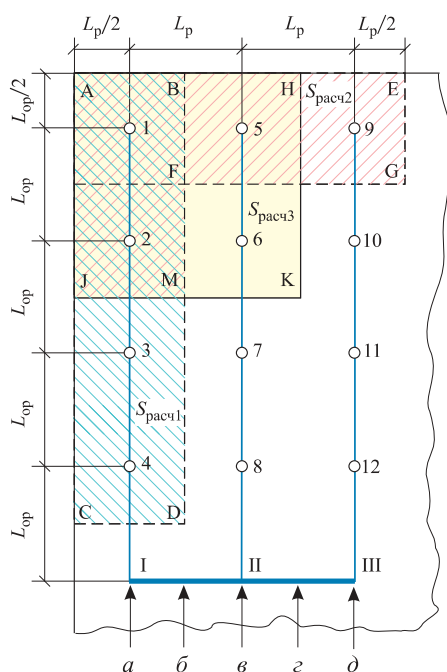


Рис. 2. Варианты предполагаемых диктующих участков расчетной защищаемой площади гидравлической схемы распределительной сети: $S_{расч1}$ (S_{ABDC}), $S_{расч2}$ (S_{AEGFMJ}), $S_{расч3}$ (S_{AHKJ}) — предполагаемые диктующие расчетные защищаемые площади; 1–12 — оросители; а–д — вероятные места подсоединения питающего трубопровода; I–III — номера рядков; $L_{ор}$ — расстояние между оросителями

Действительно, иногда по схеме распределительной сети вроде бы не всегда можно выбрать правильный вариант диктующей защищаемой расчетной площади, для которой потребуется, соответственно, наибольший расход и максимальное давление.

Расход и давление на диктующем и последующих оросителях, общий расход и давление на выходе расчетной защищаемой площади определяют по методике, приведенной в приложении В СП 5.13130.2009 [7]. Гидравлический расчет водяных и пенных АУП по-

дробно изложен также в учебно-методических пособиях [9, 10].

Гидравлические схемы распределительной сети АУП могут иметь различную конфигурацию. Например, варианты предполагаемых диктующих участков расчетной защищаемой площади гидравлической схемы распределительной сети с четырьмя оросителями в каждом из трех рядков с подачей ОТВ по стрелке “д” приведены на рис. 2.

Диктующим оросителем для всех вариантов $S_{расч1}$, $S_{расч2}$ и $S_{расч3}$ является один и тот же ороситель 1, и это понятно, так как он самый удаленный.

При расстоянии между оросителями и рядками $L_{ор} = L_p = 4$ м условная площадь, защищаемая каждым оросителем, составит: $\Omega = 4 \times 4 = 16$ м² (см. рис. 2). Следовательно, количество оросителей N , обеспечивающих защиту площади $S_{норм}$, принимаем: $N = S_{норм} / \Omega = 60 : 16 = 3,75$. Округлив полученное значение до целого числа, получим количество оросителей $N = 4$, при этом защищаемая фактическая расчетная площадь составит 64 м².

За диктующую защищаемую расчетную площадь следует принимать площадь, которая характеризуется максимальным расходом Q и, соответственно, максимальным давлением P на ее выходе. За защищаемую диктующую расчетную площадь можно принять (см. рис. 2):

- $S_{расч1}$ (S_{ABDC}): в нее входят оросители 1–4; все оросители находятся на одном рядке I; подача ОТВ по стрелке “д”;
- $S_{расч2}$ (S_{AEGFMJ}): в нее входят оросители 1, 2, 5 и 9. Оросители 1 и 2 находятся на рядке I, ороситель 6 — на рядке II, ороситель 9 — на рядке III; подача ОТВ по стрелке “д”;
- $S_{расч3}$ (S_{AHKJ}): в нее входят оросители 1, 2, 5 и 6. Оросители 1 и 2 находятся на рядке I, оросители 5 и 6 — на рядке II; подача ОТВ по стрелке “д”.

Таблица 2. Результаты расчета гидравлических параметров распределительной сети гидравлических схем предполагаемых диктующих площадей

Расход каждого оросителя, л/с						Давление на каждом оросителе, МПа					Общий расход Q_A , л/с	Давление на выходе P_A , МПа
Диктующая расчетная площадь $S_{расч1}$ (S_{ABDC})												
q_1	q_2	q_3	q_4	q_a	q_b	P_1	P_2	P_3	P_4	P_a	7,25	1,314
1,25	1,39	1,84	2,78	7,25	7,25	0,089	0,108	0,193	0,438	1,183		
Диктующая расчетная площадь $S_{расч2}$ (S_{AEGFMJ})												
q_1	q_2	q_5	q_9	q_a	q_b	P_1	P_2	P_a	P_b	P_A	6,30	0,435
1,25	1,39	1,74	1,86	2,63	4,37	0,089	0,108	0,372	0,381	0,435		
Диктующая расчетная площадь $S_{расч3}$ ($S_{АНКУ}$)												
q_1	q_2	q_5	q_6	q_a	q_b	P_1	P_2	P_a	P_b	P_A	5,29	0,416
1,25	1,39	1,27	1,41	2,63	5,29	0,089	0,108	0,372	0,381	0,416		

В случае если имеется гидравлическая схема предполагаемых диктующих участков распределительной сети с равномерно расположенными оросителями, то диктующую защищаемую расчетную площадь вроде бы определить довольно просто — по наибольшему гидравлическому сопротивлению на участке питающего трубопровода “а–д”.

Например, если подача осуществляется по направлению “а” или “б”, то диктующей будет площадь с оросителями 9–12 (рядок III); если по направлению “в”, то с оросителями 1–4 (рядок I) или 9–12 (рядок III); если по направлению “г” или “д”, то с оросителями 1–4 (рядок I). Но, может быть, диктующей площадью будет являться площадь с другой совокупностью оросителей, расположенных на разных рядках?

Результаты гидравлического расчета распределительной сети гидравлических схем с равномерно расположенными оросителями, представленных на рис. 2, сведены в табл. 2.

Согласно расчетам наиболее высокие значения гидравлических параметров (расхода Q и давления P) у диктующей защищаемой площади $S_{расч1}$, а затем по убывающей — у $S_{расч2}$ и $S_{расч3}$. Следовательно, диктующей защищаемой площадью должна быть принята $S_{расч1}(S_{ABDC})$, в которую входят оросители 1–4, находящиеся на одном рядке I.

Таким образом, ключом для оперативного распознавания истинной диктующей защищаемой площади данной гидравлической схемы распределительной сети АУП с четырьмя оросителями в каждом из трех рядков является максимальное количество оросителей, включая диктующий, расположенных на одном рядке, и максимальная длина питающего трубопровода.

Присуща ли полученная логическая обоснованность присуща только приведенной гидравлической схеме или является общей закономерностью для иных вариантов схем?

Рассмотрим, например, еще возможные варианты диктующих участков расчетной защищаемой площади гидравлической схемы с несимметричной распределительной сетью (рис. 3), с пятью оросителями в каждом из пяти рядков и с подачей ОТВ по стрелке “д”. Причем для всех вариантов длина питающего трубопровода “а–д” принята одинаковой — $L_{а-д} = 16$ м.

Диктующим оросителем для всех вариантов схем $S_{расч1}$, $S_{расч2}$ и $S_{расч3}$ является один и тот же ороситель 1. Так же, как и для схем, приведенных на рис. 2, условная площадь, защищаемая каждым оросителем, составляет $\Omega = 4 \times 4 = 16$ м². Защищаемая фактическая расчетная площадь принимается $S_{расч} = 64$ м², а количество оросителей, располагаемых над защищаемой площадью, $N = 4$. Диктующей защищаемой расчетной площадью следует считать площадь, которая характеризуется максимальным расходом Q и,

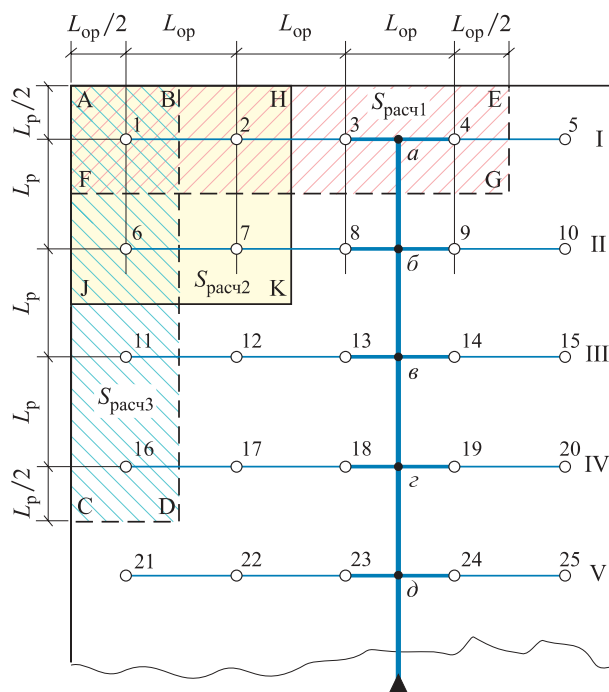


Рис. 3. Варианты предполагаемых диктующих участков расчетной защищаемой площади гидравлической схемы распределительной сети: $S_{расч1}(S_{AEGF})$, $S_{расч2}(S_{АНКJ})$, $S_{расч3}(S_{ABDC})$ — предполагаемые диктующие расчетные защищаемые площади; 1–25 — оросители; а–д — точки соединения рядков с питающим трубопроводом; I–V — номера рядков; $L_{оп}$ — расстояние между оросителями

соответственно, максимальным давлением P на ее выходе.

Защищаемые диктующие расчетные площади имеют следующие характеристики:

- $S_{расч1}(S_{AEGF})$: оросители 1–4 находятся на одном рядке I; подача ОТВ — между 3-м и 4-м оросителями;
- $S_{расч2}(S_{АНКJ})$: оросители 1 и 2 находятся на рядке I, оросители 6 и 7 — на рядке II; подача ОТВ — в рядок I в т. “а”, в рядок II в т. “б”;
- $S_{расч3}(S_{ABDC})$: в каждом из четырех рядков находится только по одному оросителю: в I — 1, во II — 6, в III — 11, в IV — 16; подача ОТВ — в рядок I в т. “а”, в рядок II в т. “б”, в рядок III в т. “в”, в рядок IV в т. “г”.

По приведенным вариантам диктующей защищаемой расчетной площади схемы распределительной сети, на первый взгляд, действительно сложно выбрать истинную диктующую площадь, для которой потребуются, соответственно, наибольший расход и максимальное давление.

Результаты гидравлического расчета приведенных на рис. 3 вариантов диктующей защищаемой расчетной площади распределительной сети сведены в табл. 3.

Согласно расчетам наиболее высокие значения гидравлических параметров (расхода Q и давления P)

Таблица 3. Результаты расчета гидравлических параметров распределительной сети гидравлических схем предполагаемых диктующих площадей

Расход каждого оросителя, л/с				Давление на каждом оросителе, МПа				Общий расход $Q_{\text{общ}}$, л/с	Давление на выходе P_A , МПа
Диктующая расчетная площадь $S_{\text{расч1}}$ (S_{AEFG})									
q_1	q_2	q_3	q_4	P_1	P_2	P_3	P_a	6,72	0,544
1,25	1,39	1,85	2,24	0,089	0,108	0,193	0,318		
Диктующая расчетная площадь $S_{\text{расч2}}$ ($S_{\text{АНКJ}}$)									
q_1	q_2	q_6	q_7	P_1	P_2	P_a	P_6	5,34	0,313
1,25	1,39	1,28	1,42	0,089	0,108	0,197	0,206		
Диктующая расчетная площадь $S_{\text{расч3}}$ (S_{ABDC})									
q_1	q_6	q_{11}	q_{16}	P_1	P_a	P_6	P_B (P_f)	5,19	0,190
1,25	1,26	1,29	1,38	0,089	0,128	0,130	0,138 (0,156)		

у диктующей защищаемой площади $S_{\text{расч1}}$, а затем по убывающей — у $S_{\text{расч2}}$ и $S_{\text{расч3}}$. Следовательно, диктующей защищаемой площадью должна быть принята $S_{\text{расч1}}$ (S_{AEFG}), в которую входят оросители 1–4, находящиеся на одном ряду I.

Попробуем обосновать способ логического аналитического выбора положения истинной диктующей защищаемой площади.

Сравним $S_{\text{расч1}}$ на рис. 2 и $S_{\text{расч1}}$ на рис. 3. Их гидравлические параметры q_1 – q_3 и P_1 – P_3 одинаковы. Следовательно, отличие заключается только в значениях q_4 , но расход зависит от давления: $q = 10KP^{0,5}$. Давление на оросителе 4 определяется по формулам:

- для $S_{\text{расч1}}$ на рис. 2: $P_4 = P_3 + A(Q_{1-3})^2 L$;
- для $S_{\text{расч1}}$ на рис. 3: $P_4 < P_a = P_3 + A(Q_{1-3})^2 L/2$.

Поскольку

$$\begin{aligned} & (P_{4 \text{ расч1(рис. 2)}} - P_{4 \text{ расч1(рис. 3)}}) \sim \\ & \sim (P_3 + A(Q_{1-3})^2 L)_{\text{(рис. 2)}} - (P_3 + A(Q_{1-3})^2 L/2)_{\text{(рис. 3)}} \end{aligned}$$

то $q_{4 \text{ расч1(рис. 2)}} > q_{4 \text{ расч1(рис. 3)}}$.

Следовательно, при одних и тех же оросителях и одинаковых диаметрах трубопроводов рассматриваемых диктующих защищаемых площадей можно, не прибегая к гидравлическому расчету, установить, что для $S_{\text{расч1}}$, приведенной на рис. 2, общий расход и давление будут выше, чем для $S_{\text{расч1}}$, приведенной на рис. 3, т. е.:

$$\begin{aligned} P_{S_{\text{расч1(рис. 2)}}} & > P_{S_{\text{расч1(рис. 3)}}} \text{ и} \\ Q_{S_{\text{расч1(рис. 2)}}} & > Q_{S_{\text{расч1(рис. 3)}}} \end{aligned}$$

Сравним $S_{\text{расч1}}$ и $S_{\text{расч2}}$, приведенные на рис. 3. Их гидравлические параметры q_1 и q_2 , P_1 и P_2 одинаковы. Проведем оценку давлений в т. “а” для $S_{\text{расч1}}$ и в т. “б” для $S_{\text{расч2}}$.

Приращение давления ΔP_{2-a} в т. “а” определяется следующим образом:

- для $S_{\text{расч1}}$:

$$\begin{aligned} \Delta P_{2-a} &= A_{25}(Q_{1-2})^2 L + A_{25}(Q_{1-3})^2 L/2; \\ P_3 &= P_2 + A_{25}(Q_{1-2})^2 L; \quad q_3 = 10KP_3^{0,5}; \\ Q_{1-3} &= q_1 + q_2 + q_3; \end{aligned}$$

- для $S_{\text{расч2}}$:

$$\Delta P_{2-a} = A_{25}(Q_{1-2})^2 1,5L; \quad Q_{1-2} = q_1 + q_2;$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{a \text{ расч1}} - \Delta P_{a \text{ расч2}} &= A_{25}(Q_{1-2})^2 L + A_{25}(Q_{1-3})^2 L/2 - \\ &- A_{25}(Q_{1-2})^2 1,5L = A_{25}(Q_{1-3})^2 L/2 - A_{25}(Q_{1-2})^2 L/2. \end{aligned}$$

Однако поскольку $A_{25}(Q_{1-3})^2 L/2$ гораздо больше $A_{25}(Q_{1-2})^2 L/2$, то $P_{a \text{ расч1}} > P_{a \text{ расч2}}$.

Приращение давления ΔP_{a-b} в т. “б” для $S_{\text{расч2}}$ определяется по выражению

$$\Delta P_{a-b} = P_a - P_b = A_{40}(Q_{6-7})^2 L.$$

Гидравлическое сопротивление труб DN 40 почти в 10 раз меньше гидравлического сопротивления труб DN 25 ($A_{40} \sim 0,031 \text{ с}^2/\text{л}^2$, $A_{25} = 0,306 \text{ с}^2/\text{л}^2$) и на участке “а–б” с учетом расхода двух оросителей 1 и 2 составляет всего 0,86 м вод. ст. (или 0,0086 МПа). Поэтому $(q_1 + q_2) \sim (q_6 + q_7)$, т. е. $q_1 \sim q_6$, а $q_2 \sim q_7$. Однако давление и расход на оросителе 3 (P_3 и q_3) и тем более на оросителе 4 (P_4 и q_4) на площади $S_{\text{расч1}}$ гораздо больше, чем давление и расход на оросителе 6 (P_6 и q_6) и на оросителе 7 (P_7 и q_7) на площади $S_{\text{расч2}}$.

Следовательно, при одних и тех же оросителях и одинаковых диаметрах трубопроводов рассматриваемых диктующих защищаемых площадей можно, не прибегая к гидравлическому расчету, установить, что для $S_{\text{расч1}}$ общий расход и давление будут выше, чем для $S_{\text{расч2}}$, т. е.

$$P_{S_{\text{расч1}}} > P_{S_{\text{расч2}}} \text{ и } Q_{S_{\text{расч1}}} > Q_{S_{\text{расч2}}}.$$

Сравним $S_{\text{расч2}}$ и $S_{\text{расч3}}$, приведенные на рис. 3. Их гидравлические параметры q_1 и P_1 одинаковы.

Проведем оценку давлений в т. “а” для $S_{расч2}$ и $S_{расч3}$.

Приращение давления ΔP_{1-a} в т. “а” для $S_{расч2}$ определяется следующим образом:

$$\Delta P_{1-a} = A_{25}(Q_1)^2 L + A_{25}(Q_{1-2})^2 1,5L;$$

$$Q_{1-2} = q_1 + q_2, \text{ причем } q_1 < q_2.$$

Если допустить, что $q_1 = q_2$, то

$$\Delta P_{1-a} = A_{25}(Q_1)^2 L + A_{25}(2Q_1)^2 1,5L = A_{25}(Q_1)^2 7L.$$

Приращение давления ΔP_{1-a} в т. “а” для $S_{расч3}$ определяется следующим образом:

$$\Delta P_{1-a} = A_{25}(Q_1)^2 2,5L; \quad Q_1 = q_1.$$

Таким образом, $\Delta P_{1-a S_{расч2}} - \Delta P_{1-a S_{расч3}} = A_{25}(Q_1)^2 7L - A_{25}(Q_1)^2 2,5L$, т. е. приращение $\Delta P_{1-a S_{расч2}}$ почти в 3 раза больше, чем приращение $\Delta P_{1-a S_{расч3}}$. Следовательно, $P_{a S_{расч2}} > P_{a S_{расч3}}$.

Давление $P_{б S_{расч2}}$ и $P_{б S_{расч3}}$ в т. “б” соответственно для $S_{расч2}$ и $S_{расч3}$ определяется как:

$$P_{б S_{расч2}} = P_{a S_{расч2}} + A_{40}(Q_{1-2})^2 L;$$

$$P_{б S_{расч3}} = P_{a S_{расч3}} + A_{40}(Q_1)^2 L.$$

Как видно, потери в трубопроводе распределительной сети $S_{расч2}$ на участке “а–б” зависят от квадрата суммарного расхода двух оросителей — $(q_1 + q_2)^2$, а потери в трубопроводе распределительной сети $S_{расч3}$ — только от квадрата расхода одного оросителя — $(q_1)^2$.

Гидравлическое сопротивление труб DN 40 почти в 10 раз меньше гидравлического сопротивления труб DN 25 ($A_{40} \sim 0,031 \text{ с}^2/\text{л}^2$, $A_{25} = 0,306 \text{ с}^2/\text{л}^2$) и составляет при расходе двух оросителей $(q_1 + q_2)$ всего 0,86 м вод. ст. (или $\sim 0,009 \text{ МПа}$), а при расходе только одного оросителя (q_1) и того меньше — 0,19 м вод. ст. (или $\sim 0,002 \text{ МПа}$). Поэтому для логических рассуждений можно принять: $q_1 \sim q_6$.

Следовательно, давление $P_{б S_{расч2}}$ и общий расход $Q_{б S_{расч2}}$ на выходе $S_{расч2}$ в т. “б” будут больше, чем давление и общий расход на выходе $S_{расч3}$ в т. “г”.

Таким образом, при одних и тех же оросителях и одинаковых диаметрах трубопроводов рассматриваемых диктующих защищаемых площадей можно, не прибегая к гидравлическому расчету, установить, что для $S_{расч2}$ общий расход и давление будут выше, чем для $S_{расч3}$, т. е.

$$P_{S_{расч2}} > P_{S_{расч3}} \quad \text{и} \quad Q_{S_{расч2}} > Q_{S_{расч3}}.$$

Результаты анализа гидравлического расчета диктующей защищаемой площади свидетельствуют о том, что общий расход и давление на выходе этой площади, а также количество оросителей, укладываемых в нормативный расход, зависят не только от диаметров трубопроводов распределительной сети, но и от принятой схемы последней.



ВОПРОС 4:

Прошу разъяснить, каким образом следует трактовать п. 5.1.4 табл. 5.1 СП 5.13130.2009 в части требований к интенсивности орошения защищаемой площади — как требования к минимально допустимой интенсивности или как требования к средней интенсивности по площади?

Данное требование трактуется нами как необходимость обеспечить интенсивность орошения водной АУП не менее $0,08 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ в любой точке защищаемой площади.

В то же время подрядная организация, с которой мы работаем, трактует данное требование как необходимость обеспечить среднюю интенсивность по площади защищаемых помещений не ниже $0,08 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, т. е. допускается ситуация, когда на некоторых участках защищаемых помещений интенсивность будет ниже $0,08 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ при условии, что средняя интенсивность орошения защищаемой площади в целом составит не менее $0,08 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

ОТВЕТ:

Интенсивность орошения, указанная в п. 5.1.4 и в табл. 5.1 СП 5.13130.2009 [7], должна соответствовать интенсивности диктующего оросителя при срабатывании всех запланированных оросителей спринклерной АУП на расчетной защищаемой площади. Поскольку расход каждого последующего оросителя (после диктующего) увеличивается, то, следовательно, и интенсивность орошения в их зоне действия также последовательно повышается (не надо путать с моментом, когда срабатывает только один первый ороситель) (рис. 4).

Когда срабатывает первым диктующий ороситель 1 (или любой другой ороситель) спринклерной АУП, его расход в этот момент гораздо больше расчетного значения диктующего оросителя $q_{1(1)} = q_{1 \text{ макс}} > q_{1 \text{ расч}}$, а следовательно, и максимальная интенсивность орошения в зоне его действия наивысшая. После срабатывания оросителя 2 его расход $q_{2(1-2)}$ становится больше изменившегося в меньшую сторону расхода $q_{1(1-2)}$. Аналогичным образом, когда срабатывает ороситель 3, его расход $q_{3(1-3)}$ становится больше, расход оросителей 1 и 2 снижается до уровня соответственно $q_{1(1-3)}$ и $q_{2(1-3)}$. Наконец, когда на расчетной площади сработает последний ороситель 4, расход Q выходит на расчетное значение. При этом расходы $q_{1(1-4)}$, $q_{2(1-4)}$ и $q_{3(1-4)}$ оросителей 1–3 опять снижаются и также выходят на конечное расчетное значение. Аналогичным образом снижается и интенсивность орошения предыдущих оросителей по мере срабатывания каждого последующего.

Расход диктующего оросителя $q_{1(1-4)}$, хотя и является минимальным по сравнению с расходами $q_{2(1-4)}$, $q_{3(1-4)}$ и $q_{4(1-4)}$, должен обеспечить интенсивность орошения не менее нормативного значения: $i \geq i_{\text{норм}}$.

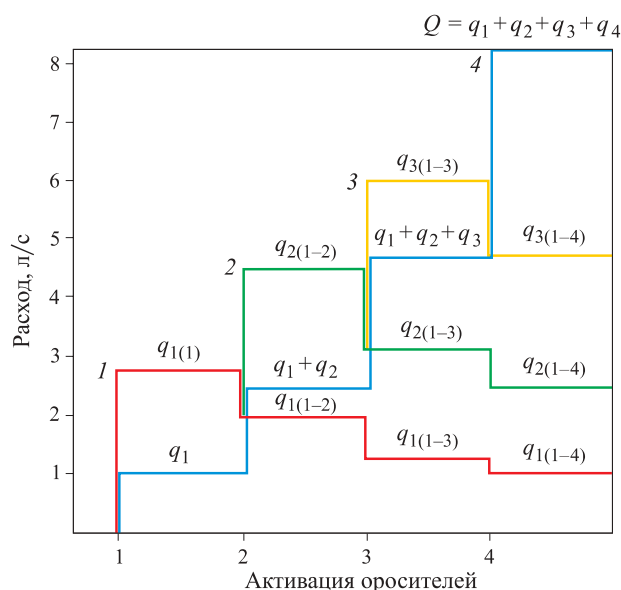


Рис. 4. Типичный характер изменения расхода по мере последовательного срабатывания оросителей на защищаемой диктующей площади спринклерной АУП: 1 — расход диктующего оросителя при его активации и по мере последующего срабатывания соответственно оросителей 2–4; 2 — расход оросителей 1 и 2 при их активации и по мере последующего срабатывания соответственно оросителей 3 и 4; 3 — расход оросителей 1–3 при их активации и по мере последующего срабатывания оросителя 4; 4 — расход оросителей 1–4 при их активации; Q — общий расход оросителей 1–4 при их активации (общий расход АУП); q_1 – q_4 — расход каждого из оросителей 1–4 при их общей активации; $q_{1(1)}$ – $q_{3(1-4)}$ — расход каждого из оросителей 1–3 (первая цифра индекса означает номер активированного оросителя, цифры в скобках — при каких номерах активированных оросителей указан этот расход)

Таким образом, при срабатывании четырех оросителей получим: $q_1 < q_2 < q_3 < q_4$, а следовательно, и $i_{\text{норм}} \leq i_1 < i_2 < i_3 < i_4$.

Если бы после этого, помимо оросителей 1–4, сработали еще один или несколько оросителей, не принятых в расчет, то интенсивность орошения оросителей 1–4 снизилась бы до значений $i_1 < i_{\text{норм}}$, $i_2 < i_{\text{норм}}$ или даже $i_3 < i_{\text{норм}}$ и $i_4 < i_{\text{норм}}$.

В связи с этим подрядная организация трактует п. 5.1 СП 5.13130.2009 [7] неправильно: если необходимо обеспечить среднюю интенсивность орошения $0,08 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$, то такая интенсивность орошения (не менее) должна быть под диктующим оросителем, а на остальной расчетной площади интенсивность будет более $0,08 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$.

При желании обеспечить интенсивность орошения, близкую к нормативной, на всей диктующей защищаемой площади (а следовательно, не завышать значительно общий расход АУП) необходимо увеличить диаметр трубопроводов распределительной сети. Чем больше будет их диаметр, тем ниже будет общий расход АУП и тем меньше будет отличаться интенсив-

ность орошения диктующего оросителя от интенсивности орошения остальных оросителей.



ВОПРОС 5:

Если производитель приводит данные, согласно которым у оросителя 70 % расхода воды при давлении 1,5 бар приходится на зону радиусом 1,75 м, то какое следует принять давление на оросителе, чтобы интенсивность орошения на площади 12 м^2 была не менее $0,12 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$?

ОТВЕТ:

Принимаем допущение, что форма потока ОТВ, диспергируемого из оросителя, не зависит от давления.

Круглая зона радиусом 1,75 м имеет площадь $S = 9,6 \text{ м}^2$.

Если принять при давлении $0,15 \text{ МПа}$ (1,5 бар) на площади $S_{9,6}$ интенсивность орошения $i = 0,12 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$, то 70 % расхода $q_{9,6}$, приходящегося на эту площадь, составит:

$$q_{9,6} = i S_{9,6} = 0,12 \cdot 9,6 \sim 1,15 \text{ л/с}.$$

Тогда общий расход оросителя $q_{\text{общ}}$ при давлении 1,5 бар должен быть не менее:

$$q_{\text{общ}} = q_{9,6} / 0,7 = 1,65 \text{ л/с}.$$

Как правило, общая площадь орошения примерно на 10–70 % больше $S_{12} = 12 \text{ м}^2$. При гидравлических расчетах рекомендуется общую площадь, орошаемую одним оросителем, S принимать на 30 % больше S_{12} (что соответствует коэффициенту распределения расхода ОТВ по орошаемой площади $\varphi = 1,3$), т. е. общая орошаемая площадь $S = \varphi S_{12} = S_{12} + \Delta S$ (рис. 9). При этом следует иметь в виду, что интенсивность орошения этого периферийного кольца крайне неравномерна и на границе крайних капель стремится к $i = 0$.

Следовательно, расход $q_{12\varphi}$, приходящийся на площадь $S = 12 \text{ м}^2$, при коэффициенте распределения расхода ОТВ по орошаемой площади $\varphi = 1,3$ составит:

$$q_{12\varphi} = q_{\text{общ}} / \varphi = 1,65 / 1,3 = 1,27 \text{ л/с}.$$

Однако расход q_{12} , приходящийся на площадь $S = 12 \text{ м}^2$, при средней интенсивности орошения $0,12 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ должен составлять:

$$q_{12} \geq i S_{12} \geq 1,44 \text{ л/с},$$

т. е. получается больше, чем расход $q_{12\varphi}$, полученный при давлении 1,5 бар и коэффициенте распределения расхода ОТВ по орошаемой площади $\varphi = 1,3$.

Общий расход оросителя с интенсивностью орошения $0,12 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ на площади $S = 12 \text{ м}^2$ с учетом $\varphi = 1,3$ должен быть:

$$q_{\text{общ}} \geq \varphi q_{12} \geq 1,3 \cdot 1,44 = 1,87 \text{ л/с}.$$

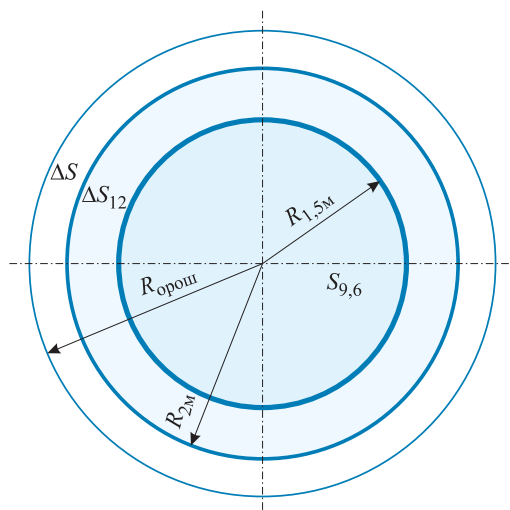


Рис. 5. Распределение интенсивности орошения на площади, орошаемой одним оросителем

Поскольку коэффициент производительности оросителя

$$K_{\text{рф}} = q_{\text{общ}} / (10P^{0,5}) = 1,65 / (10(0,15)^{0,5}) = 0,42 \text{ л/(см}^{0,5}\text{)},$$

давление P , обеспечивающее интенсивность орошения $0,12 \text{ л/(см}^2\text{)}$ на площади $S = 12 \text{ м}^2$, должно быть не менее:

$$P = (q_{\text{общ}} / (10K))^2 = (1,87 / (10 \cdot 0,42))^2 = 0,2 \text{ МПа}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 6182-1:2014. Fire Protection – Automatic Sprinkler Systems – Part 1 : Requirements and test methods for sprinklers. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6182:-1:ed-3:v1:en> (дата обращения: 10.01.2019).

2. EN 12259-1:1999. Fixed firefighting systems – Components for sprinkler and water spray systems – Part 1 : Sprinklers. – London : BSI, 1999.

3. LPS 1039 : Issue 5.2. Requirements and testing methods for automatic sprinklers. – BRE Global Ltd., 2014. – 41 p. URL: <http://www.redbooklive.com/download/pdf/LPS1039.pdf> (дата обращения: 10.01.2019).

4. VdS 2100-35. K 160 – Sprinkler. Anforderungen und prüfmethoden. URL: http://vds-global.com/fileadmin/vds_publicationen/vds_2100-35_web.pdf (дата обращения: 10.01.2019).

5. UL 199. Standard for automatic sprinklers for fire-protection service. – 11th ed. – Northbrook : Underwriters Laboratories Inc., 2005.

6. FM Approval Standard for Sprinklers. URL: www.fmaprovals.com (дата обращения: 10.01.2019).

7. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (ред. от 01.06.2011). URL: <http://base.garant.ru/195658/> (дата обращения: 10.01.2019).

8. ГОСТ Р 51043–2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://base.garant.ru/3924922/> (дата обращения: 10.01.2019).

9. Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю. Автоматические водяные и пенные установки пожаротушения. Проектирование : учеб.-метод. пособ. – М. : ВНИИПО, 2009. – 572 с.

10. Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю. Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения : учеб.-метод. пособ. – М. : ВНИИПО, 2002. – 315 с.

Материал поступил в редакцию 20 января 2019 г.

Информация об авторе

МЕШМАН Леонид Мунеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; e-mail: fire404@mail.ru

Information about the author

Leonid M. MESHMAN, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; e-mail: fire404@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ / FIRE AND EXPLOSION SAFETY” 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. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, 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 адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

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 недопустима транслитерация с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также 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, 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, страну, индекс, 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.), так как это затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое 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. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является 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 (должно 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);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

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

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

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

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом упоминании в тексте резюме.

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

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.5. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Они 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), артиклей “a”, “the” и т. п.

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

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением

общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

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

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 предоставляются 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 печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. 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.

Для двуязычного представления табличного и графического материала необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подрисуночной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

2.7. 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.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т. п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

Не менее половины источников должно быть включено 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 должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

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.

2.8. 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)”); если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант;
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

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

3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента. Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

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

Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, предоставившие рукопись для публикации в журнале “Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety”, согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!

ВЫСТАВКА технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



**27 февраля
— 2 марта
2019**

Краснодар
ВКК «Экспоград Юг»

**ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ
БИЛЕТ**

на сайте
securexpo.ru

ВАШ ПРОМОКОД
sce19tdf563



12+

РЕКЛАМА

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 (861) 200-12-50, 200-12-34
securexpo@krasnodarexpo.ru

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ



ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

**Продолжается
подписка
на журнал**

2019

ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



По вопросам подписки
просьба обращаться
по тел.: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85 или
по e-mail info@fire-smi.ru

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 г. (3 номера) — 5901 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 10260 руб.

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 г. (3 номера) — 2460 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 4680 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- ЧЕРЕЗ ПОДПИСНЫЕ АГЕНТСТВА:
- ООО “Урал-Пресс”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
- ООО “Агентство “Книга Сервис”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
- ЗАО “ПРЕССИНФОРМ”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой)

9-я Казахстанская
международная выставка
Охрана, безопасность, средства спасения,
противопожарная защита



Новое название!

securex
Kazakhstan

Алматы, Казахстан

24 - 26
апреля
2019

КЦДС «Атакент»



Системы
и технические
средства
видеонаблюдения



Системы
и средства
ограничения
доступа



Системы
защиты
периметра



Системы и средства
обеспечения
пожарной
безопасности



Технические
средства
обеспечения
безопасности

www.securika-almaty.kz

Организаторы:



GROUP



Генеральный партнер



ТОО "Itesca" Тел.: +7 727 258 34 34; E-mail: julia.palagutina@iteca.kz, gulzana@iteca.kz





ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.