

5-2016

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ
НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ
ОПЕРАТИВНЫМИ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Выставка технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



securika
Siberia



Новосибирск

28–30
сентября
2016

МВК «Новосибирск Экспоцентр»

Забронируйте стенд
securika-siberia.ru



Системы
и технические
средства
видеонаблюдения



Системы
и средства
ограничения
доступа



Системы
защиты
периметра



Системы и средства
обеспечения
пожарной
безопасности



Технические
средства
обеспечения
безопасности



Организатор
ITE Сибирь
+7 (383) 363 00 63
security@sibfair.ru

Генеральный
информационный
партнер



Стратегический
информационный
партнер



РЕКЛАМА

STOPFIRE

III выставка технологий, товаров и услуг для пожарной безопасности

ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ В РАМКАХ ГОДА ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ РОССИИ

27-29 СЕНТЯБРЯ 2016 г.

Екатеринбург, ДИВС (ул. Олимпийская набережная, 3)



Обеспечение пожарной безопасности объектов различного назначения:

- гражданских (общественные, жилые и т.д.)
- промышленных объектов (производственные, складские)
- сельскохозяйственных
- пожарная безопасность энергетического комплекса
- пожарная безопасность в нефтегазовом комплексе
- пожарная безопасность медицинских и социальных учреждений и объектов культуры

Пожарная безопасность лесов и торфяников

Противопожарная защита:

- огнестойкие строительные материалы
- противопожарные двери, ворота и лестницы
- огнестойкие уплотнители
- системы, элементы систем и устройства предотвращения возникновения и распространения пожара
- системы взрывоподавления
- противопожарные барьеры
- противопожарные клапаны

Системы пожарной сигнализации и оповещения:

- устройства пожарной сигнализации, сирены
- извещатели пожарные пламени, дымовые, тепловые, газовые
- приборы приемно-контрольные пожарные
- датчики протечки воды, пыли, радиации
- ручные извещатели
- системы аварийного освещения и указатели выхода

Пожарная техника и оборудование:

- пожарные и аварийно-спасательные автомобили, техника, летательные аппараты, плавсредства
- беспилотные летательные аппараты
- экзоскелеты
- пожарные роботизированные комплексы
- оборудование и снаряжение пожарного, оборудование пожарного автомобиля и спасательной техники
- системы и устройства для эвакуации и спасения людей
- системы самоспасения
- огнетушители и установки пожаротушения

Инженерная безопасность зданий и сооружений:

- диагностическое оборудование и комплексы
- оборудование для неразрушающего контроля
- лазерные сканирующие системы

Охрана и наблюдение:

- камеры видеонаблюдения
- контрольные теле/видео оборудование/мониторы
- аппаратура приема, обработки и записи видеoinформации
- аналоговые и цифровые видео регистраторы
- дополнительное оборудование и аксессуары

Аудит пожарной безопасности

Экспертиза и сертификация в области пожарной безопасности

Научно-техническая и интеллектуальная продукция

Отраслевые издания

Наноматериалы

РЕКЛАМА

ПРИГЛАШАЕМ К УЧАСТИЮ!

Организатор:

СОЮЗПРОМЭКСПО

+7 (343) 385-77-10

mail@souzpromexpo.ru

stopfire.souzpromexpo.ru

При поддержке:

Уральского регионального центра МЧС России

Главного Управления МЧС России по Свердловской области

Администрации города Екатеринбурга

Уральского Института ГПС МЧС России

УрФУ, УГГУ, УГЛТУ

Уральского отделения ВДПО

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

МАЛЫГИН И. Г., ТРУДОВ О. Г.
Метод модификационного управления
стоимостью жизненного цикла
противопожарных технических систем

5

MALYGIN I. G., TRUDOV O. G.
Method of the modification control
of the life cycle cost of fire
technical systems

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

ПУЗАЧ С. В., АКПЕРОВ Р. Г.
Экспериментальное определение удельного
коэффициента образования монооксида углерода
при пожаре в помещении

18

PUZACH S. V., AKPEROV R. G.
Experimental determination of the specific
coefficient of release of carbon monoxide
during a fire in the room

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ИЩЕНКО А. Д.
Проблемы обеспечения тушения пожаров
на объектах энергетики оперативными
подразделениями пожарной охраны

26

ISHCHENKO A. D.
Aspects of fire fighting ensuring
by operational subdivisions
at power facilities

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

САМОШИН Д. А., ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.
Проблемы нормирования времени начала эвакуации

37

SAMOSHIN D. A., KHOLSHCHEVNIKOV V. V.
Problems of regulation of time to start evacuation

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

РАИМБЕКОВ К. Ж.
Комплексный показатель пожарной опасности
сельской местности Республики Казахстан

52

RAIMBEKOV K. Zh.
Complex index of fire danger rural areas
of the Republic of Kazakhstan

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ШИЛИНА Е. Н.
Газовое пожаротушение

ДУШКИН А. Л., ЛОВЧИНСКИЙ С. Е., РЯЗАНЦЕВ Н. Н.
Первичные средства пожаротушения для Арктики

57

KOROLCHENKO A. Ya., SHILINA E. N.
Gas extinguishing

66

DUSHKIN A. L., LOVCHINSKIY S. Ye., RYAZANTSEV N. N.
Fist-aid fire equipment for Arctic Region

ВОПРОС – ОТВЕТ

75

QUESTION – ANSWER

Журнал издается с 1992 г., периодичность выхода – 12 номеров в год.

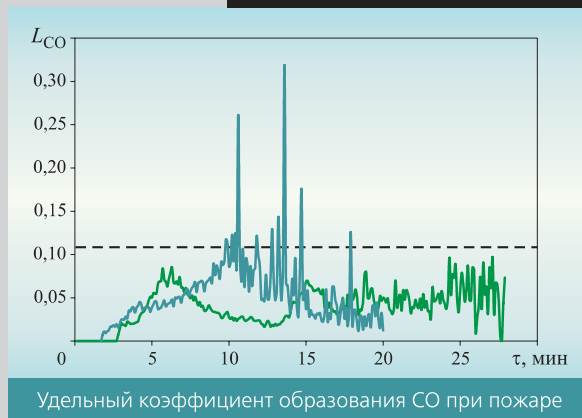
СМИ зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – свидетельство ПИ № ФС77-43615 от 18 января 2011 г.

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

Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" 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 мнением авторов опубликованных материалов.



Оценка стоимости жизненного цикла СПТС



Удельный коэффициент образования СО при пожаре

Стр. 5

Стр. 18



Проблемы тушения пожаров на объектах энергетики

Стр. 26



Нормирование времени начала эвакуации

Стр. 37

Стр. 57



Газовое пожаротушение

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор,
академик МАНЭБ (Россия)

Зам. председателя Редакционного совета:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Россия)

Мишуев А. В., д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент
НАНПБ (Россия)

Ройтман В. М., д. т. н., профессор, академик НАНПБ
и ВАНКБ, член-корреспондент Академии архитектурного
наследия (Россия)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор,
действительный член ВАНКБ (Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН
и НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик
и почетный член РАЕН, заслуженный работник высшей
школы РФ (Россия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

**Учредитель —
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

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

Адрес редакции:
121357, Россия, г. Москва, ул. Вересаева, д.10.

Адрес для переписки:
121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 16.05.2016. Выход в свет 25.05.2016.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "УНИВЕРСАЛСЕРВИС"
(115193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 7, стр. 1).

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

Editor-in-Chief **Korolchenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

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

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress

Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

"Pozharovzryvobezопасnost"
("Fire and Explosion Safety") is included
in List of periodical scientific and technical
publication of the Russian Federation,
what are recommended for publishing
the main results of competitors
for doctoral degree by VAK,
in Abstracting Journal VINITI Database RAS
and in Russian Science Citation Index.
Information about the journal is annually
published in "Ulrich's Periodicals Directory".

Translate version of articles "Fire
and Explosion Safety" is included
in Chemical Abstract Service (CAS).

No part of this publication may be used
or reproduced in any form or by any means
without the prior permission of the Publishers.

Reproducing 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 16.05.2016

Date of publication 25.05.2016

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korolchenko A. Ya.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety (Russia)

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Korolchenko D. A.,

Candidate of Technical Sciences, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety (Russia)

Mishuev A. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences (Russia)

Puzach S. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National
Academy of Fire Science (Russia)

Roytman V. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy
of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex
Safety, Corresponding Member of Academy of Architectural Heritage (Russia)

Serkov B. B.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science (Russia)

Tamrazyan A. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of World Academy
of Sciences for Complex Safety (Russia)

Topolskiy N. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy
of Natural Sciences, Academician of National Academy of Fire Science,
Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Kholshchevnikov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician and Honoured Member
of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Higher Education Employee
of the Russian Federation (Russia)

Shebeko Yu. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science (Russia)

Shields T. J.,

Professor (Great Britain)

И. Г. МАЛЫГИН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); директор Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия В. О., 13; e-mail: malygin_com@mail.ru)

О. Г. ТРУДОВ, начальник отдела научно-технических программ Департамента технической политики, ОАО "Российские железные дороги" (Россия, 107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, 2; e-mail: joss@mail.ru)

УДК 004.94.656.078.656.25

МЕТОД МОДИФИКАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Дается анализ отраслевого использования метода оценки стоимости жизненного цикла изделий. Приводится метод модификационного управления стоимостью жизненного цикла технических систем, разрабатываемый путем интеграции метода оценки стоимости жизненного цикла изделий и модификационного подхода к созданию новых видов изделий. Впервые вводятся понятия вектора стоимостного регулирования жизненным циклом и вектора модификации технической системы; приводится методика их определения. Для оценки эффективности управления стоимостью жизненного цикла технических систем вводится коэффициент дисконтированной стоимостью модификации; дается методика расчета плановой экономии и коэффициента рентабельности модификаций. Приводится разработанная применительно к организационной структуре ОАО "РЖД" логико-алгоритмическая модель функциональной структуры модификационного управления стоимостью жизненного цикла технических систем. Демонстрируется ее работоспособность на примере автоматических систем пожаротушения. Даются рекомендации по дальнейшему развитию и практическому использованию разработанного метода.

Ключевые слова: экономика предприятия; управление затратами; метод стоимости жизненного цикла; инвестиционное планирование; автоматические системы пожаротушения; управление пожарной безопасностью; методы создания новых видов изделий; оценка жизненного цикла; железнодорожный транспорт.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05-17

Введение

В настоящее время одним из ключевых направлений совершенствования систем управления корпоративным финансовым планированием в ОАО "Российские железные дороги" (ОАО "РЖД") на долгосрочную перспективу является переход ценообразования от системы *издержки плюс* к системе *стоимости жизненного цикла* (СЖЦ) с учетом отраслевой специфики приобретаемой и эксплуатируемой продукции [1].

Совершенствование операционно-хозяйственной деятельности и оптимизация затрат легли в основу структурного реформирования государственной транспортной монополии ОАО "РЖД" [2]. Использование новых методов в структуре ценообразования, помимо повышения фондоотдачи и снижения совокупных затрат, должно дать толчок развитию инновационной продукции, поскольку в границах существующей методологии создания новых изде-

лий [3] позволит сформировать обоснованную цену на более функциональную, совершенную и востребованную продукцию.

В данном случае применение единой методологии производителями и потребителями даст возможность получать прогнозируемые результаты расчетов, принимать экономически обоснованные решения и более уверенно планировать свою деятельность.

Анализ предметной области

Разработкой современных методов финансового контроллинга заняты многие отечественные и западные научные коллективы. Среди последних работ в этой области хочется отметить следующие. В работах [4, 5] метод СЖЦ хорошо зарекомендовал себя применительно к объектам железнодорожного транспорта (локомотивы, подвижной состав и др.). В публикации [6] предложены новые оценки производственной себестоимости и затратно-рыночных опти-

мальных цен интеллектуально-инновационной бренд-продукции, реализуемой новатором-монополистом на патентном рынке с использованием индекса монопольной власти. В работе [7] раскрывается влияние формирования и функционирования вертикально-интегрированных компаний в России на межрегиональное перераспределение финансовых ресурсов и рассматриваются основные пути и методы такого воздействия. В публикации [8] рассмотрены системы калькулирования “директ – костинг”, “абсорпшен – костинг”, “жесткий директ – костинг” и определена специфика использования каждого из методов. В работе [9] на основе гипотезы неоднородности инновационного процесса представлены стратегии и методы разработки новых изделий, дано понимание единства процессов формирования и реализации мотиваций участников хозяйственных и общественных взаимодействий. Последнее позволяет концептуально выстраивать и верифицировать стратегии и проекты инновационной деятельности любого уровня.

Постановка проблемы

К настоящему времени метод оценки стоимости жизненного цикла уже прошел апробацию при расчете подвижного состава и сложных технических систем (ТС) железнодорожного транспорта [10]. К сожалению, метод СЖЦ не изучался применительно к иным видам деятельности ОАО “РЖД”, и, как следствие, не было предложено инструментария, в границах которого можно было бы совершенствовать приобретаемые сложные технические изделия. Настоящая работа посвящена разработке метода модификационного управления стоимостью жизненного цикла применительно к сложным пожарно-техническим системам (СПТС) [11].

Основная часть

Любая техническая система требует определенных капиталовложений с момента ее проектирования до утилизации. С введением понятия жизненного цикла и его стоимости функционирование приобретаемого объекта или системы стало рассматриваться как совокупность взаимосвязанных процессов, происходящих в период с момента создания объекта и до его утилизации [12, 13]. Расчет стоимости жизненного цикла [14, 15] предполагает определение суммарной стоимости затрат на объект, складывающейся из затрат на каждом из пяти этапов: разработки (I), приобретения (II), установки (III), владения (IV) и утилизации (V). Метод СЖЦ хорошо зарекомендовал себя применительно к объектам железнодорожного транспорта и логистики [16, 17].

Автоматические системы пожаротушения (АСП) являются сложными пожарно-техническими системами [11].

Стоимость жизненного цикла СПТС определяется по методике [5], адаптированной к АСП:

$$LCC = C_p + \sum_{t=0}^T (C_t^I + \Delta C_t^E - C_t^L) \alpha_t, \quad (1)$$

где LCC — стоимость жизненного цикла СПТС;
 C_p — стоимость приобретения АСП (первоначальная стоимость), тыс. руб.;
 t — текущий год эксплуатации; $t = 0, \dots, T$;
 T — конечный год эксплуатации АСП (горизонт планирования), который устанавливается в соответствии с техническими требованиями или иной документацией (в том числе с учетной политикой предприятия, на балансе которого числится АСП);
 C_t^I — годовые эксплуатационные расходы, связанные с АСП, тыс. руб.;
 ΔC_t^E — сопутствующие единовременные затраты, связанные с введением АСП в эксплуатацию, тыс. руб.;
 C_t^L — ликвидационная стоимость компонентов АСП, тыс. руб.;
 α_t — коэффициент дисконтирования.

На стадии разработки концепции новой АСП (I стадии жизненного цикла) в качестве цены ее приобретения может выступать ее лимитная цена*.

Обозначим дисконтированные затраты на обслуживание, эксплуатацию и утилизацию ТС, как $DMC = \sum_{t=0}^T (C_t^I + \Delta C_t^E - C_t^L) \alpha_t$. Тогда формула (2)

примет вид:

$$LCC = C_p + DMC. \quad (2)$$

Коэффициент дисконтирования для постоянной нормы дисконта определяется из следующего выражения:

$$\alpha_t = 1 / (1 + \varepsilon)^t, \quad (3)$$

где ε — норма дисконта (ставка дисконтирования);

$\varepsilon = d_{\text{бр}} + r$;

$d_{\text{бр}}$ — безрисковая ставка доходности;

r — премия за риск.

При изменяющейся по годам норме дисконта ε_k коэффициент дисконтирования определяют по формуле

$$\alpha_t = 1 / \prod_{k=1}^t (1 + \varepsilon_k). \quad (4)$$

Таким образом, стоимость жизненного цикла АСП определяется суммированием индивидуального оттока денежных средств (расходов) на каждом временном этапе (шаге расчета) срока службы техники.

* Лимитная цена — устанавливаемый в проектах расчетный предельный уровень цен на будущую продукцию.

К сожалению, методика [5] не дает возможности осуществлять регулирование СЖЦ на вновь приобретаемую продукцию и сводится лишь к оценке совокупных дисконтированных затрат в рамках конкретной продукции.

Данную проблему предлагается решать посредством интеграции в методику [5] модификационного подхода к созданию новых видов изделий.

Отталкиваясь от первоначальной стоимости ТС и учитывая по требованию заказчика повышение показателей надежности, функциональности и улучшение эксплуатационных характеристик, можно достичь последовательного снижения стоимости жизненного цикла противопожарной ТС и, как следствие, затрат со стороны заказчика. Таким образом, происходит производственный переход от более затратной (индекс 1) к менее затратной (индекс 2) для заказчика СПТС посредством стоимостного регулирующего ($\bar{R}$) и модифицирующего ($\bar{M}$) воздействий согласно следующим выражениям:

$$\bar{P}_M^2 = \bar{P}^1 + \bar{M}; \quad (5)$$

$$\bar{LCC}_R^2 = \bar{LCC}^1 - \bar{R}, \quad (6)$$

где $\bar{P}_M^2$ — вектор, характеризующий СПТС после модификации;

$\bar{P}^1$ — вектор, характеризующий СПТС до модификации;

$\bar{LCC}_R^2$ — вектор стоимости жизненного цикла модифицированной СПТС после стоимостного регулирующего воздействия;

$\bar{LCC}^1$ — вектор стоимости жизненного цикла СПТС до модификации и стоимостного регулирующего воздействия;

1, 2 — индексы, характеризующие СПТС соответственно до и после модификации.

Процедура определения вектора стоимостного регулирующего воздействия для АСП состоит из двух этапов.

На первом этапе при помощи оператора сравнения f_{com} производится анализ эксплуатируемых систем АСП P_i и определяются наиболее оптимальные из них P_α^{opt} по показателям стоимости (C) и надежности (H):

$$\begin{cases} \{P_i\} \xrightarrow{f_{com}} P_\alpha^{opt}(C; H); \\ \{LCC_i\} \xrightarrow{f_{com}} LCC_\alpha^{opt}(C; H) = \\ = [\min(C_p; C_t^I; \Delta C_t^E) \wedge \max(C_t^L; \max H)], \end{cases} \quad (7)$$

где LCC_i — стоимость жизненного цикла анализируемых СПТС; $i = 1, \dots, N_i$;

$LCC_\alpha^{opt}(C; H)$ — стоимость жизненного цикла СПТС, оптимальной по стоимости и надежности;

α — количество оптимальных СПТС;

$\alpha = 1, \dots, N_\alpha$.

На втором этапе при помощи экспертной процедуры f_{exp} выявленная в процессе первого этапа ТС P_α^{opt} с $LCC_\alpha^{opt}(C; H)$ совершенствуется до уровня P_M^2 с LCC_R^2 с улучшением стоимостных и надежных характеристик:

$$\begin{cases} P_\alpha^{opt} \xrightarrow{f_{exp}=(\bar{R}; \bar{M})} P_M^2; \\ LCC_\alpha^{opt}(C; H) \xrightarrow{f_{exp}=(\bar{R}; \bar{M})} LCC_R^2(C; H), \end{cases} \quad (8)$$

где $f_{exp} = (\bar{R}; \bar{M})$ — оператор экспертной модификации;

$LCC_R^2(C; H)$ — стоимость жизненного цикла модифицированной СПТС, стоимость и надежность которой лежат в допустимых экспертами пределах $LCC_R^2(C; H) \leq LCC_{доп}^{exp}(C; H)$.

Создание новой СПТС протекает при этом в рамках модификационного подхода [6, 7], укладывающегося в границы теории потребления [18, 19].

Последнее представляет собой метод модификационного управления СЖЦ, формальная интерпретация которого имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \bar{LCC}_R^2 &= \bar{LCC}^1 - \bar{R} = (C_p + C_p^R) + \\ &+ \sum_{i=1}^T ([C_t^I - C_t^{RI}] + [\Delta C_t^E - C_t^{RE}] - [C_t^L + C_t^{RL}]) \alpha_i; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\bar{P}_M^2 = \bar{P}^1 + \bar{M} = \sum_i^P f_i + \sum_m^M f_m; \quad (10)$$

$$LCC_R^2 < LCC^1, \quad (11)$$

где LCC_R^2 — стоимость жизненного цикла СПТС $\bar{P}_M^2$ после модификации, тыс. руб.;

LCC^1 — стоимость жизненного цикла СПТС $\bar{P}^1$ до модификации, тыс. руб.;

$\bar{R}$ — вектор стоимостного регулирования жизненным циклом, тыс. руб.;

$\bar{R} = (C_p^R; C_t^{RI}; C_t^{RE}; C_t^{RL})$;

C_p^R — модификатор цены приобретения, тыс. руб.;

C_t^{RI} — модификатор эксплуатационных расходов, тыс. руб.;

C_t^{RE} — модификатор сопутствующих единовременных затрат, связанных с введением АСП в эксплуатацию, тыс. руб.;

C_t^{RL} — модификатор ликвидационной стоимости АСП, тыс. руб.;

$\bar{P}^1$ — СПТС со стоимостью жизненного цикла LCC^1 ;

$\bar{M}$ — вектор-модификатор СПТС;

f_i — характеристики ТС $\bar{P}^1$, $i = 1, \dots, P$;

f_m — модификаторы характеристик СПТС $\bar{P}^1$, $i = 1, \dots, M$.

Опираясь на выражение (9) и опуская для простоты изложения индексы 1 и 2, введем коэффициент K_R дисконтированной стоимостной модификации продукции:

$$K_R = \frac{LCC}{LCC_R} = \begin{cases} \geq 1 & \text{— эффективное управление;} \\ < 1 & \text{— неэффективное управление.} \end{cases} \quad (12)$$

Тогда процесс функционально-стоимостной модификации СПТС в границах условий (7)–(12) в общем виде можно формально записать через $F(M; R)$:

$$F(M; R) = \begin{cases} LCC \times R \rightarrow LCC_R; \\ P \times M \rightarrow P_M, \end{cases} \quad (13)$$

где $F(M; R)$ — оператор модификационного управления СЖЦ СПТС;

P — СПТС со стоимостью жизненного цикла LCC ;

M — модификатор ТС;

P_M — модифицированная СПТС со стоимостью жизненного цикла LCC_R .

Разница между СЖЦ существующей и модифицированной СПТС определит величину плановой экономии СЖЦ:

$$LCC_i - LCC_R^j = ELC_{i,j}, \quad (14)$$

где LCC_i — СЖЦ i -й существующей СПТС;

LCC_R^j — СЖЦ j -й модифицированной СПТС;

$ELC_{i,j}$ — плановая экономия СЖЦ при внедрении j -й модифицированной СПТС вместо существующей i -й.

Таким образом, общая плановая экономия СЖЦ ELC по всем СПТС при их модификации может быть представлена в виде

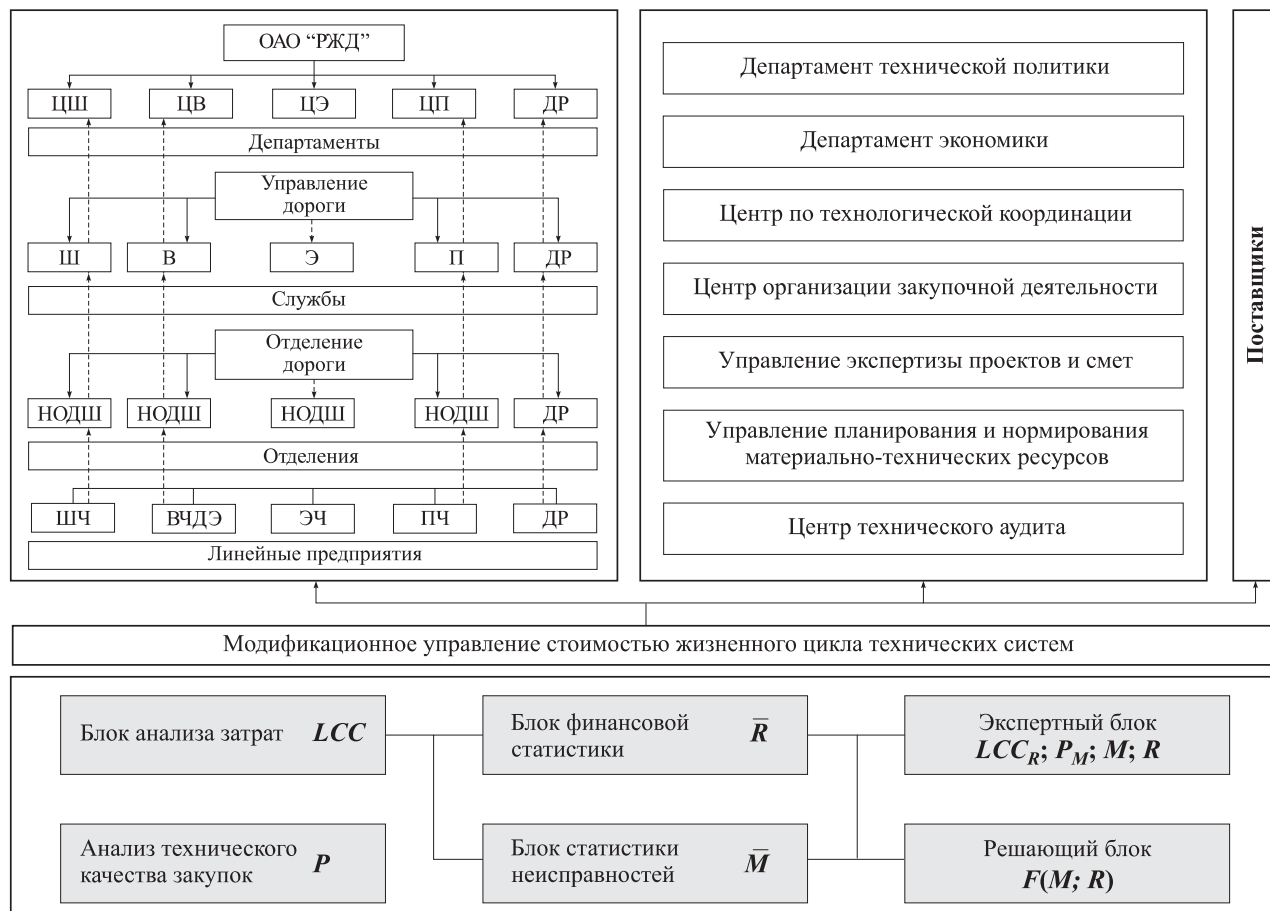
$$ELC = \sum_{i,j} ELC_{i,j}. \quad (15)$$

Для оценки эффективности управления финансовым планированием целесообразно ввести коэффициент рентабельности модификаций:

$$K_{ELC} = \frac{\sum_{i,j} ELC_{i,j}}{\sum_i LCC_i} \cdot 100\%. \quad (16)$$

Система коэффициентов (12)–(16) позволяет оценить эффективность управления финансовым планированием в границах метода модификационного управления стоимостью жизненного цикла технических систем.

Внедрение метода (формулы (1)–(16)) в системы поддержки принятия решений инвестиционно-финансовым планированием может быть реализовано с использованием логико-алгоритмической модели функциональной структуры модификационного управления стоимостью жизненного цикла технических систем, представленной на рисунке. На нем использованы следующие обозначения: ЦШ — де-



Логико-алгоритмическая модель функциональной структуры модификационного управления стоимостью жизненного цикла технических систем

партамент сигнализации, централизации и блокировки; ЦВ — департамент вагонного хозяйства; ЦП — департамент путей и сооружений; ЦЭ — дирекция электрификации и электроснабжения; Ш — служба сигнализации и связи; В — вагонная служба; Э — дорожная служба электрификации и энергоснабже-

ния; П — служба пути; ШЧ — дистанция сигнализации, централизации и блокировки; НОДШ — отделение сигнализации и связи; НОДВ — отдел вагонного хозяйства (подвижного состава) отделения дороги, начальник отделения; НОДП — отдел пути отделения дороги, начальник отделения; Д — служ-

Таблица 1а. Стоимостные данные автоматической системы пожаротушения АСП1, расположенной на объекте О₁

№ п/п	Показатель	Срок эксплуатации, лет					
		0	1	2	3	4	5
1	Цена приобретения C_p, руб.	4544537,05					
1.1	Проект	227803,50	0	0	0	0	0
1.2	Оборудование	168650,05	0	0	0	0	0
1.3	Материалы	2104980,44	0	0	0	0	0
1.4	Монтаж насосной станции пожаротушения	240397,49	0	0	0	0	0
1.5	Монтаж спринклерной системы и внутреннего пожарного водопровода	1365287,20	0	0	0	0	0
1.6	Монтажные работы электротехнической части	437418,37	0	0	0	0	0
2	Единовременные затраты, связанные с введением АСП в эксплуатацию, ΔC_t^E, руб.	239336,43	0	0	0	0	0
2.1	Пусконаладочные работы	239336,43	0	0	0	0	0
3	Годовые эксплуатационные расходы АСП C_t^I, руб.	600000		600000	600000	600000	600000
3.1	Штатный персонал	240000		240000	240000	240000	240000
3.2	Внешнее обслуживание	360000		360000	360000	360000	360000
4	Ликвидационная стоимость C_t^L, руб.	10524,90		12629,88	14734,86	16839,84	420996,08
4.1	Ликвидационная стоимость компонентов АСП	10524,90		12629,88	14734,86	16839,84	420996,08

Таблица 1б. Расчет стоимости жизненного цикла автоматической системы пожаротушения АСП1, расположенной на объекте О₁

Показатель	Итого	Срок эксплуатации, лет					
		0	1	2	3	4	5
Коэффициент дисконтирования		1	0,30278	0,11138	0,04097	0,01507	0,00554
Дисконтированная стоимость обслуживания АСП, руб.		828811,52	177844,76	65425,43	23982,41	8790,90	992,69
Стоимость жизненного цикла обслуживания АСП нарастающим итогом, руб.		828811,52	1006656,29	1072081,72	1096064,14	1104855,04	1105847,73
Стоимость жизненного цикла АСП нарастающим итогом, руб.:							
– без НДС	5650384,79	5373348,58	5551193,34	5616618,78	5640601,19	5649392,10	5650384,79
– с НДС	6667454,05						

Таблица 2а. Стоимостные данные автоматической системы пожаротушения АСП2, расположенной на объекте О₂

№ п/п	Показатель	Срок эксплуатации, лет					
		0	1	2	3	4	5
1	Цена приобретения C_p, руб.	4304313,22					
1.1	Проект	215257,36	0	0	0	0	0
1.2	Оборудование	156304,20	0	0	0	0	0
1.3	Материалы	2022215,29	0	0	0	0	0
1.4	Монтаж насосной станции пожаротушения	219054,74	0	0	0	0	0
1.5	Монтаж спринклерной системы и внутреннего пожарного водопровода	1286631,13	0	0	0	0	0
1.6	Монтажные работы электротехнической части	404850,30	0	0	0	0	0
2	Единовременные затраты, связанные с введением АСП в эксплуатацию, ΔC_t^E, руб.	216456,43	0	0	0	0	0
2.1	Пусконаладочные работы	216456,43	0	0	0	0	0
3	Годовые эксплуатационные расходы АСП C_t^I, руб.	78000		90000	96000	102000	108000
3.1	Штатный персонал	0		0	0	0	0
3.2	Внешнее обслуживание	78000		90000	96000	102000	108000
4	Ликвидационная стоимость C_t^L, руб.	2022,21		2628,88	2831,10	3033,32	424665,21
4.1	Ликвидационная стоимость компонентов АСП	2022,21		2628,88	2831,10	3033,32	424665,21

Таблица 2б. Расчет стоимости жизненного цикла автоматической системы пожаротушения АСП2, расположенной на объекте О₂

Показатель	Итого	Срок эксплуатации, лет					
		0	1	2	3	4	5
Коэффициент дисконтирования		1	0,30278	0,11138	0,04097	0,01507	0,00554
Дисконтированная стоимость обслуживания АСП, руб.		292069,08	26454,35	9732,01	3817,78	1491,88	–1756,10
Стоимость жизненного цикла обслуживания АСП нарастающим итогом, руб.		292069,08	318523,43	328255,45	332073,23	333565,11	331809,00
Стоимость жизненного цикла АСП нарастающим итогом руб.:							
– без НДС	4636122,22	4596382,30	4622836,66	4632568,67	4636386,45	4637878,33	4636122,22
– с НДС	5470624,22						

ба движения; ВЧДЭ — заместитель начальника вагонного депо по эксплуатации; НОДЭ — отделение дороги по электрификации и энергоснабжению, начальник отделения; ПЧ — дистанция пути, начальник дистанции пути; ЭЧ — дистанция электроснабжения, начальник дистанции электроснабжения.

В представленных в нижней части рисунка блоках протекают следующие процессы.

Блок анализа затрат рассчитывает стоимость жизненного цикла эксплуатируемых технических сис-

тем согласно (1)–(4) и передает эту информацию в экспертный блок.

Блок финансовой статистики на основании информации из экспертного блока рассчитывает вектор стоимостного регулирования жизненным циклом технической системы (9) и передает информацию в решающий блок.

Блок анализа технического качества закупок совместно с блоком статистики неисправностей определяет качество и уровень надежности эксплуатиру-

Таблица 3а. Вектор стоимостного регулирующего воздействия $\bar{R}$

Показатель	Значение				
Модификатор цены приобретения C_p^R, руб.	570851,96				
Проект	27398,68				
Оборудование	13187,59				
Материалы	167235,28				
Монтаж насосной станции пожаротушения	22997,46				
Монтаж спринклерной системы и внутреннего пожарного водопровода	271670,48				
Монтажные работы электротехнической части	68362,47				
Модификатор единовременных затрат введения в эксплуатацию C_t^{RE}, руб.	4520,31				
Пусконаладочные работы	4520,31				
Модификатор эксплуатационных расходов C_t^{RI}, руб.					
Показатель	Срок эксплуатации, лет				
	1	2	3	4	5
Внешнее обслуживание	6000	18000	24000	30000	36000
Модификатор ликвидационной стоимости C_t^{RL}, руб.					
Ликвидационная стоимость	-1094,72	-1144,89	-976,12	-807,34	39079,79

Таблица 3б. Вектор стоимостного регулирующего воздействия $\bar{R}$

Этап жизненного цикла	$\bar{P}^1 = \bar{P}_\alpha^{opt}$	$\bar{M}$	$\bar{P}_M^2$
Проектирование АСП	Компания-проектировщик АСП2	Выбор компании-проектировщика АСП3	Компания-проектировщик АСП3
Разработка проекта АСП	Проект АСП2	Разработка проекта АСП3	Проект АСП3
Производство АСП	Компоненты АСП2	Выбор компонентов АСП3	Компоненты АСП3
Установка АСП	Компания, осуществляющая монтаж АСП2	Выбор компании, осуществляющей монтаж АСП3	Компания, осуществляющая монтаж АСП3
Обслуживание АСП	Компания, обслуживающая АСП2	Выбор компании, обслуживающей АСП3	Компания, обслуживающая АСП3
Демонтаж и утилизация АСП	Компания, осуществляющая демонтаж АСП2	Выбор компании, осуществляющей демонтаж АСП3	Компания, осуществляющая демонтаж АСП3

емых технических систем, а с блоком анализа затрат — стоимость их эксплуатации. Он также определяет компоненты вектора модификации в выражениях (5), (7), (8) и (10).

Блок статистики неисправностей анализирует совместно с блоком анализа технического качества закупок надежность эксплуатируемых СПТС. На основании информации из экспертного блока он рассчитывает вектор модификации технической системы согласно (10) и передает информацию в решающий блок.

Экспертный блок анализирует информацию о существующих предложениях на рынке технических систем и соотносит ее с информацией, поступающей из блоков анализа затрат, анализа технического качества закупок и статистики неисправностей; определяет набор оптимальных СПТС согласно (7) и

формирует директиву по модификации оптимальных СПТС согласно (8).

Решающий блок утверждает информацию о модификации оптимальных СПТС согласно (13), осуществляет контроль за процедурой модификации по (5) и (6) и производит анализ эффективности управления финансовым планированием согласно (11), (12) и (14)–(16).

Поясним работу метода модификационного управления стоимостью жизненного цикла СПТС на следующем примере.

Практический пример

В компании ОАО “РЖД” на двух разных объектах O_1 и O_2 площадью соответственно 1750 и 1840 м² установлены автоматические системы водяного пожаротушения. Исходные данные по стоимости АСП1

и АСП2, расположенных на объектах O_1 и O_2 , представлены в табл. 1а и 2а. Срок эксплуатации систем составляет 5 лет. Требуется:

1) вычислить ставку дисконтирования с учетом ставки безрисковой доходности $d_{бр} = 6,6\%$ и премии за риск $r = 15\%$;

2) сравнить данные по АСП и определить оптимальную из них;

3) произвести модификацию оптимальной АСП методом модификационного управления стоимостью жизненного цикла СПТС;

4) рассчитать коэффициент дисконтированной стоимостной модификации;

5) рассчитать общую плановую экономию при внедрении модифицированной АСП;

6) рассчитать коэффициент рентабельности модификаций;

7) сделать выводы об эффективности или неэффективности управления финансовым планированием по методу модификационного управления стоимостью жизненного цикла АСП.

Решение.

1. Ставку дисконтирования вычислим из исходных условий следующим образом:

$$\varepsilon = d_{бр} + r = 6,6 + 15 = 21\%.$$

2. Определим оптимальную АСП в два этапа:

а) рассчитаем стоимость жизненного цикла АСП1 и АСП2 в соответствии с выражением (1). Данные

расчета стоимости жизненного цикла АСП1 сведем в табл. 1б.

Для пояснения приведем пример расчета стоимости жизненного цикла АСП1 за 2 года эксплуатации с нарастающим итогом:

$$\begin{aligned} LCC(АСП) &= C_p + \sum_{t=0}^1 (C_t^I + \Delta C_t^E - C_t^L) \alpha_t = \\ &= 4544537,05 + \frac{239336,43 + 600000 - 10524,9}{(1 + 0,21)^0} + \\ &\quad + \frac{0 + 600000 + 12629,88}{(1 + 0,21)^1} = 5551193,34 \text{ руб.}; \end{aligned}$$

б) проведем сравнение стоимости жизненного цикла АСП1 и АСП2 и их составляющих и определим оптимальную АСП в соответствии с выражением (7):

$$\begin{aligned} &\left\{ \begin{array}{l} \{АСП1; АСП2\} \xrightarrow{f_{com}} P_a^{opt}(C; H) = АСП2; \\ \left\{ \begin{array}{l} LCC(АСП1) = 4636122,22 \\ LCC(АСП2) = 44062072,56 \end{array} \right\} \xrightarrow{f_{com}} \end{array} \right. \\ &\xrightarrow{f_{com}} LCC_{\alpha}^{opt}(C; H) \equiv LCC(АСП2) = \\ &= \left(\min \left[\begin{array}{l} C_p(АСП1) > C_p(АСП2) \\ C_t^I(АСП1) > C_t^I(АСП2) \\ \Delta C_t^E(АСП1) > \Delta C_t^E(АСП2) \end{array} \right] \right) \wedge \\ &\quad \wedge \max \left[\begin{array}{l} C_t^L(АСП1) < C_t^L(АСП2) \\ H(АСП1) \leq H(АСП2) \end{array} \right] \Bigg). \end{aligned}$$

Принимаем АСП2 за оптимальную.

Таблица 4а. Стоимостные данные модифицированной АСП3

№ п/п	Показатель	Срок эксплуатации, лет					
		0	1	2	3	4	5
1	Цена приобретения C_p, руб.	3733461,26					
1.1	Проект	187858,68	0	0	0	0	0
1.2	Оборудование	143116,61	0	0	0	0	0
1.3	Материалы	1854980,01	0	0	0	0	0
1.4	Монтаж насосной станции пожаротушения	196057,28	0	0	0	0	0
1.5	Монтаж спринклерной системы и пожарного водопровода	1014960,65	0	0	0	0	0
1.6	Монтажные работы электротехнической части	336488,30	0	0	0	0	0
2	Единовременные затраты, связанные с введением АСП в эксплуатацию, ΔC_t^E, руб.	211570,99	0	0	0	0	0
2.1	Пусконаладочные работы	211570,99	0	0	0	0	0
3	Годовые эксплуатационные расходы АСП C_t^I, руб.	78000		90000	96000	102000	108000
3.1	Штатный персонал	0		0	0	0	0
3.2	Внешнее обслуживание	78000		90000	96000	102000	108000
4	Ликвидационная стоимость C_t^L, руб.	927,49		1483,98	1854,98	2225,97	463745,00
4.1	Ликвидационная стоимость компонентов АСП	927,49		1483,98	1854,98	2225,97	463745,00

Таблица 46. Расчет стоимости жизненного цикла модифицированной АСПЗ

Показатель	Итого	Срок эксплуатации, лет					
		0	1	2	3	4	5
Коэффициент дисконтирования		1	0,30278	0,11138	0,04097	0,01507	0,00554
Дисконтированная стоимость обслуживания АСП, руб.		282643,5	21350,94	7854,57	2874,33	1051,81	–2172,47
Стоимость жизненного цикла обслуживания АСП нарастающим итогом, руб.		282643,5	303994,44	311849,01	314723,34	315775,16	313602,68
Стоимость жизненного цикла АСП нарастающим итогом, руб.:							
– без НДС	4047063,94	4016104,76	4037455,70	4045310,27	4048184,60	4049236,42	4047063,94
– с НДС	4775535,45						

3. Проведем модификацию АСП2 методом модификационного управления стоимостью жизненного цикла СПТС в соответствии с выражениями (8)–(11).

Составляющие векторов стоимостного регулирующего воздействия $\bar{R}$ (табл. 3а) и модификатора M (табл. 3б) определим экспертным путем, опираясь на логико-алгоритмическую модель функциональной структуры модификационного управления стоимостью жизненного цикла АСП (см. рис. 1).

Определив вектор стоимостного регулирующего воздействия $\bar{R}$ и вектор-модификатор СПТС, проведем модификацию АСП2 до уровня АСПЗ методом модификационного управления стоимостью жизненного цикла СПТС. Данные расчета сведем в табл. 4а и 4б.

Таким образом, нами была разработана АСПЗ со стоимостью жизненного цикла $LCC_R^2(C; H) = 4047063,94$ руб.

4. Рассчитаем коэффициент дисконтированной стоимостной модификации СПТС K_R согласно выражению (12):

$$K_R = \frac{LCC}{LCC_R} = \frac{LCC_{\alpha}^{opt}(C; H)}{LCC_R^2(C; H)} = \frac{4636122,22}{4047063,94} = 1,14 \geq 1.$$

Рассчитанный коэффициент дисконтированной стоимостной модификации СПТС больше единицы, что свидетельствует об эффективном финансовом управлении противопожарной безопасностью.

5. Общую плановую экономию при внедрении модифицированной АСП ELC рассчитаем в соответствии с выражениями (14) и (15):

$$ELC_{1,3} = LCC(АСП1) - LCC(АСП3) = 5650384,79 - 4047063,94 = 1603320,84 \text{ руб.};$$

$$ELC_{1,2} = LCC(АСП2) - LCC(АСП3) = 4636122,22 - 4047063,94 = 589058,28 \text{ руб.};$$

$$ELC = \sum_{i=1,2, j=3} ELC_{i,j} = 1603320,84 + 589058,28 = 2192379,12 \text{ руб.}$$

6. Рассчитаем коэффициент рентабельности модификаций K_{ELC} в соответствии с выражением (16):

$$K_{ELC} = \left[\frac{\sum_{i,j} ELC_{i,j}}{\sum_i LCC_i} \right] 100\% = \frac{2192379,12}{9304278,00} \cdot 100 = 23,56\%.$$

Таким образом, финансовое планирование, осуществляемое по методу модификационного управления стоимостью жизненного цикла технических систем, только на двух объектах позволит уменьшить расходы на переоснащение и обслуживание автоматических систем пожаротушения на 23 % и тем самым ощутимо сократить операционные расходы и капитальные затраты компании.

Выводы

Разработанный метод модификационного управления стоимостью жизненного цикла противопожарных технических систем позволяет управлять корпоративным финансовым планированием противопожарного обеспечения, начиная с анализа эксплуатируемых систем АСП и заканчивая разработкой новых АСП, и способствует качественному повышению уровня пожарной безопасности [20].

Система коэффициентов, введенная для оценки эффективности управления финансовым планированием в границах представленного метода, расширяет аналитический базис [21] оценки жизненного цикла [22].

Применение единой методологии производителями и потребителями позволяет получать предсказуемые результаты расчетов, принимать экономически обоснованные решения и более уверенно осуществлять стратегическое планирование финансово-хозяйственной и инновационной деятельности в области корпоративной пожарной безопасности.

Рассмотренная технология решения задач стратегического инвестиционного планирования с использованием метода модификационного управления стоимостью жизненного цикла обладает общностью и может быть с успехом использована в других отраслях транснациональной корпоративной экономики [1, 23].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трудов О. Г., Кострикин К. О.* О применении методологии СЖЦ для определения перспективных направлений инновационного развития продукции // *Техника железных дорог.* — 2011. — № 2(14). — С. 37–40.
2. *Черемин Г. Д.* Проблемы государственной политики реформирования Российского железнодорожного транспорта // *Власть.* — 2014. — № 5. — С. 59–64.
3. *Шмелева Ю. А.* Принципы взаимодействия предприятия с потребителями на этапе разработки нового товара // *Проблемы современной экономики.* — 2011. — № 3(39). — С. 181–184.
4. *Четик Ю. Г.* Оценка старения транспортных средств // *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого.* — 2002. — № 1. — С. 67–75.
5. *Симакова О. А.* Реформирование вагоноремонтного комплекса // *Известия Петербургского университета путей сообщения.* — 2008. — № 2(15). — С. 27–35.
6. *Фёдоров М. В., Леготин Ф. Я., Соколов Д. Н.* Теоретические аспекты затратно-рыночного ценообразования инновационной продукции // *Известия УрГЭУ.* — 2010. — № 5(31). — С. 63–72.
7. *Крюков В. А.* Российские вертикально-интегрированные компании и межрегиональное перераспределение финансовых ресурсов // *Проблемы прогнозирования.* — 2000. — № 2. — С. 101–110.
8. *Безбородова Т. И., Макеева Е. М.* Сравнение сочетания калькуляционных систем // *Никоновские чтения.* — 2010. — № 15. — С. 164–166.
9. *Малаховская М. В., Скрыльникова Н. А.* Формирование мотиваций к созданию инновационной экономики в России // *Вестник Томского государственного университета. Экономика.* — 2009. — № 1. — С. 24–38.
10. *Маскаев С. А.* Стоимость жизненного цикла и инвестиционная составляющая в тарифе за пользование грузовыми вагонами в международном сообщении // *Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки.* — 2011. — № 1-1. — С. 181–190.
11. *Малыгин И. Г.* Методы принятия решений при разработке сложных пожарно-технических систем. — СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2007. — 288 с.
12. *Ковалев А. А., Микава А. В., Окунев А. В.* Определение стоимости жизненного цикла сложных технических систем // *Управление экономическими системами: электронный научный журнал.* — 2013. — № 2(50). — 15 с. URL: <http://uecs.ru/uecs50-502013/item/1968-2013-02-06-08-06-58> (дата обращения: 04.02.2016).
13. *Swarr T. E., Hunkeler D., Klöpffer W. et al.* Environmental life-cycle costing: a code of practice // *The International Journal of Life Cycle Assessment.* — 2011. — Vol. 16, No. 5. — P. 389–391. DOI: 10.1007/s11367-011-0287-5.
14. *Андреев А. В.* Влияние конструкции верхнего строения пути на стоимость жизненного цикла при различных климатических и эксплуатационных условиях // *Известия Петербургского университета путей сообщения.* — 2014. — № 3(40). — С. 36–39.
15. *Rebitzer G., Seuring S.* Methodology and application of life cycle costing // *The International Journal of Life Cycle Assessment.* — 2003. — Vol. 8, No. 2. — P. 110–111. DOI: 10.1007/bf02978436.
16. *Rebitzer G.* Integrating life cycle costing and life cycle assessment for managing costs and environmental impacts in supply chains // *Cost Management in Supply Chains.* — Berlin : Springer, 2002. — P. 127–146. DOI: 10.1007/978-3-662-11377-6_8.
17. *Spielmann M., Scholz R.* Life cycle inventories of transport services: background data for freight transport (10 pp) // *The International Journal of Life Cycle Assessment.* — 2004. — Vol. 10, No. 1. — P. 85–94. DOI: 10.1065/lca2004.10.181.10.
18. *Селиверстов Я. А.* Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора // *Науковедение: интернет-журнал.* — 2014. — № 4(23). — С. 90.

19. Селиверстов Я. А., Селиверстов С. А. Формальная аксиоматика теории “функционального” субъективного потребительского поведения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. — 2014. — № 4(199). — С. 34–48.
20. Катцын Д. В., Малыгин И. Г., Таранцев А. А. Математические закономерности пожаров на железнодорожном транспорте // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 3. — С. 15–21.
21. Kayrbekova D., Markeset T., Ghodrati B. Activity-based life cycle cost analysis as an alternative to conventional LCC in engineering design // International Journal of System Assurance Engineering and Management. — 2011. — Vol. 2, No. 3. — P. 218–225. DOI: 10.1007/s13198-011-0064-7.
22. Norris G. A. Integrating life cycle cost analysis and LCA // The International Journal of Life Cycle Assessment. — 2001. — Vol. 6, No. 2. — P. 118–120.
23. Белый О. В., Малыгин И. Г., Цыганов В. В., Еналеев А. К., Савушкин С. А. Принципы научной экспертизы крупномасштабных транспортных проектов // Транспорт: наука, техника, управление. — 2015. — № 3. — С. 3–11.

Материал поступил в редакцию 11 февраля 2016 г.

Для цитирования: Малыгин И. Г., Трудов О. Г. Метод модификационного управления стоимостью жизненного цикла противопожарных технических систем // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.5-17.

English

METHOD OF THE MODIFICATION CONTROL OF THE LIFE CYCLE COST OF FIRE TECHNICAL SYSTEMS

MALYGIN I. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Fire Fighting Organization and Carrying out Rescue Operations, University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation); Director of Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Liniya Vasilyevskogo ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; e-mail address: malygin_com@mail.ru)

TRUDOV O. G., Head of the Department of Scientific and Technical Programs of Technical Policy Department, OJSC “Russian Railways” (Novaya Basmannaya St., 2, Moscow, 107174, Russian Federation; e-mail address: joss@mail.ru)

ABSTRACT

The article is devoted to development of a new method of financial planning. To date, the method of assessment of the life cycle cost has already been tested in the calculation of the rolling stock and the complex technical systems rail transport. Unfortunately, life cost cycle method is not considered in relation to other types of activity of JSC “Russian Railways”, and in the review of activities was not proposed instruments, within the boundaries of which would be carried out improvement of the acquired complex technical products. The method of the modification of management of the life cycle cost of fire technical systems developed in several stages.

Using the method of valuation “life cycle cost” of products is analyzed here. The method of the modification control of the life cycle cost of technical systems is developed here with integrating assessment method “life cycle cost” of products and “the modification approach of creating new types of products”. To solve this problem using methods of discrete mathematics, formal logic and mathematical statistics. For the first time notions and definitions: vector of regulation of life cycle cost and vector of modification of technical system are introduced and are given the technique of their definition. Effectiveness of management of the life cycle cost of technical systems was evaluated with a coefficient of discounted of cost modification, net profit ratio modifications, and the method of calculating the planned economy. Logical-algorithmic model of the functional structure of the modification control of the life cycle cost of technical system are developed in accordance with the organizational structure of JSC “Russian Railways”. Description of each of the circuit blocks are given here. On the example of evaluation of various of automatic fire extinguishing systems is

demonstrated its reliability. Recommendations for further development and practical use of this method are given here. Methods of solution of problems of strategic investment planning with the use method of the modification management of the life cycle cost has generality and can be successfully used in other branches of transnational corporate economy. The use of a single methodology allows producers and consumers to obtain predictable results of calculations, to make economically sound decisions and more confident to carry out strategic planning, financial and business and innovation in the field of corporate fire safety.

Keywords: enterprise economics; cost management; life cycle costs; investment planning; automatic fire extinguishing systems; fire safety management; methods of creating new kinds of goods; life cycle assessment; railway transport.

REFERENCES

1. Trudov O. G., Kostrikin K. O. O primeneniі metodologii SZhTs dlya opredeleniya perspektivnykh napravleniy innovatsionnogo razvitiya produktsii [Application of lifecycle cost approach for identification of perspective ways of innovative production development]. *Tekhnika zheleznykh dorog — Railway Equipment*, 2011, no. 2(14), pp. 37–40.
2. Cheremin G. D. Problemy gosudarstvennoy politiki reformirovaniya Rossiyskogo zheleznodorozhnogo transporta [Public policy problems of reforming the Russian railway transport]. *Vlast — The Authority*, 2014, no. 5, pp. 59–64.
3. Shmeleva Yu. A. Printsipy vzaimodeystviya predpriyatiya s potrebitelyami na etape razrabotki novogo tovara [The principles of enterprise interactions with customers in the development phase of a new product]. *Problemy sovremennoy ekonomiki — Problems of Modern Economics*, 2011, no. 3(39), pp. 181–184.
4. Chepik Yu. G. Otsenka stareniya transportnykh sredstv [Evaluation of aging vehicles]. *Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo — Bulletin of Gomel State Technical University named after Sukhoi*, 2002, no. 1, pp. 67–75.
5. Simakova O. A. Reformirovaniye vagonoremontnogo kompleksa [Reforming the railway car repair complex]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya — Proceedings of Petersburg Transport University*, 2008, no. 2(15), pp. 27–35.
6. Fedorov M. V., Legotin F. Ya., Sokolov D. N. Teoreticheskiye aspekty zatratno-rynochnogo tsenoobrazovaniya innovatsionnoy produktsii [Theoretical aspects of innovation products cost-based market pricing]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta — Journal of the Ural State University of Economics*, 2010, no. 5(31), pp. 63–72.
7. Kryukov V. A. Rossiyskiye vertikalno-integrirovannyye kompanii i mezhregionalnoye pereraspredeleniye finansovykh resursov [Russian vertically integrated companies and inter-regional redistribution of financial resources]. *Problemy prognozirovaniya — Studies on Russian Economic Development*, 2000, no. 2, pp. 101–110.
8. Bezborodova T. I., Makeeva E. M. Sravneniye sochetaniya kalkulyatsionnykh sistem [Comparing the combination of calculation systems]. *Nikonovskiy chteniya — Nikonovskiy Readings*, 2010, no. 15, pp. 164–166.
9. Malakhovskaya M. V., Skrylnikova N. A. Formirovaniye motivatsiy k sozdaniyu innovatsionnoy ekonomiki v Rossii [The formation of motivation for creating innovative economy in Russia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika — Tomsk State University Journal of Economics*, 2009, no. 1, pp. 24–38.
10. Maskaeв S. A. Stoimost zhiznennogo tsikla i investitsionnaya sostavlyayushchaya v tarife za polzovaniye gruzovymi vagonami v mezhdunarodnom soobshchenii [Life cycle cost and investment component in tariff for use of freight wagons in international traffic]. *Izvestiya TulGU. Ekonomicheskiye i yuridicheskiye nauki — News of the Tula State University. Economic and Legal Sciences*, 2011, no. 1-1, pp. 181–190.
11. Malygin I. G. *Metody prinyatiya resheniy pri razrabotke slozhnykh pozharно-tekhnicheskikh sistem* [Methods of decision-making in the development of sophisticated fire-technical systems]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2007. 288 p.
12. Kovalev A. A., Mikava A. V., Okunev A. V. Opredeleniye stoimosti zhiznennogo tsikla slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Life cycle cost determination of complex technical systems]. *Upravleniye ekonomicheskimi sistemami. Elektronnyy nauchnyy zhurnal — Management of Economic Systems. Scientific Electronic Journal*, 2013, no. 2(50). 15 p. Available at: <http://uecs.ru/uecs50-502013/item/1968-2013-02-06-08-06-58> (Accessed 4 February 2016).

13. Swarr T. E., Hunkeler D., Klöpffer W. et al. Environmental life-cycle costing: a code of practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2011, vol. 16, no. 5, pp. 389–391. DOI: 10.1007/s11367-011-0287-5.
14. Andreev A. V. Vliyaniye konstruktivnoy verkhneye stroeniya puti na stoimost zhiznennogo tsikla pri razlichnykh klimaticheskikh i ekspluatatsionnykh usloviyakh [Railway superstructure design influence on the life-cycle cost in different types of climate and operational conditions]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya — Proceedings of Petersburg Transport University*, 2014, no. 3(40), pp. 36–39.
15. Rebitzer G., Seuring S. Methodology and application of life cycle costing. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2003, vol. 8, no. 2, pp. 110–111. DOI: 10.1007/bf02978436.
16. Rebitzer G. Integrating life cycle costing and life cycle assessment for managing costs and environmental impacts in supply chains. *Cost Management in Supply Chains*. Berlin, Springer, 2002, pp. 127–146. DOI: 10.1007/978-3-662-11377-6_8.
17. Spielmann M., Scholz R. Life cycle inventories of transport services: background data for freight transport (10 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2004, vol. 10, no. 1, pp. 85–94. DOI: 10.1065/lca2004.10.181.10.
18. Seliverstov Ya. A. Osnovy teorii subyektivnykh funktsionalnykh vozmozhnostey ratsionalnogo vybora [Fundamentals of the theory of subjective functionalities of opportunities of rational choice]. *Naukovedeniye. Internet-zhurnal — Naukovedeniye. On-line Journal*, 2014, no. 4(23), p. 90.
19. Seliverstov Ya. A., Seliverstov S. A. Formalnaya aksiomatika teorii “funktsionalnogo” subyektivnogo potrebitelskogo povedeniya [Formal axiomatic of subjective “functional” theory of consumer behavior]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskkiye nauki — St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2014, no. 4(199), pp. 34–48.
20. Kattsyn D. V., Malygin I. G., Tarantsev A. A. Matematicheskiye zakonomernosti pozharov na zhelezno-dorozhnom transporte [Mathematical appropriateness of fires on the railway transport]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 15–21.
21. Kayrbekova D., Markeset T., Ghodrati B. Activity-based life cycle cost analysis as an alternative to conventional LCC in engineering design. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2011, vol. 2, no. 3, pp. 218–225. DOI: 10.1007/s13198-011-0064-7.
22. Norris G. A. Integrating life cycle cost analysis and LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2001, vol. 6, no. 2, pp. 118–120.
23. Bely O. V., Malygin I. G., Tsyganov V. V., Enaleev A. K., Savushkin S. A. Printsipy nauchnoy ekspertizy krupnomasshtabnykh transportnykh proyektov [Principles of scientific expertise of large transport projects]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye — Transport: Science, Technology, Management*, 2015, no. 3, pp. 3–11.

For citation: Malygin I. G., Trudov O. G. Metod modifikatsionnogo upravleniya stoimostyu zhiznennogo tsikla protivopozharnykh tekhnicheskikh sistem [Method of the modification control of the life cycle cost of fire technical systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.5-17.

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

Р. Г. АКПЕРОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина; e-mail: akperov01@mail.ru)

УДК 614.841

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОБРАЗОВАНИЯ МОНОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Представлена экспериментальная мелкомасштабная установка по моделированию термогазодинамики пожара в условно герметичном объеме. Получены экспериментальные зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода CO от среднеобъемной температуры, а также удельного коэффициента выделения монооксида углерода и удельной массовой скорости газификации от времени испытаний при горении древесины, масла трансформаторного и оболочки кабелей ПВХ. Проведено сопоставление результатов экспериментов с данными литературных источников и аналитическим решением интегральной модели. Показано, что удельные коэффициенты выделения CO значительно изменяются по времени с начала горения и их средние значения существенно зависят от периода осреднения по времени испытаний.

Ключевые слова: пожар; моделирование; монооксид углерода; удельный коэффициент выделения CO; удельная массовая скорость газификации.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25

Введение

По статистике более чем в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах являлось отравление продуктами горения [1–3], поэтому математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре представляет собой актуальную задачу [4, 5].

В настоящее время математические модели расчета динамики опасных факторов пожара (в том числе концентраций токсичных продуктов горения) в помещении получили достаточное развитие для решения практических задач пожарной безопасности, в частности для расчета пожарных рисков (например, работы [5–8]).

Исходные данные по выделению токсичных продуктов горения представлены, например, в учебном пособии [9] и в монографии [4]. Удельные коэффициенты выделения токсичных газов приняты постоянными, т. е. не зависящими от термогазодинамической картины развития пожара (концентрации кислорода, температуры и т. д.).

В настоящей работе на основе проведения экспериментов на созданной опытной мелкомасштабной установке выполнен анализ изменения удельных коэффициентов выделения монооксида углерода CO во времени, начиная с момента возникновения

горения, и зависимостей их средних значений от периода осреднения по времени.

Постановка задачи

Схема процесса горения в условно герметичном мелкомасштабном объеме представлена на рис. 1. В качестве токсичного газа будем рассматривать монооксид углерода.

Задача — получить в мелкомасштабной экспериментальной установке экспериментальные и теоретические зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры газовой среды, экспериментальные зависимости удельного коэффициента образования CO и удельных массовых скоростей газификации горючего ма-

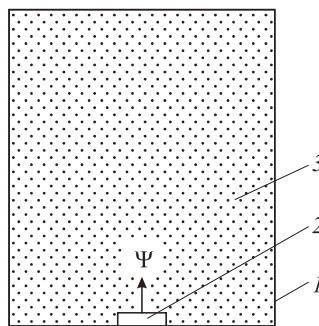


Рис. 1. Схема теплообмена в условно герметичном мелкомасштабном объеме: 1 — ограждающие конструкции; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха; Ψ — массовая скорость газификации горючего материала, кг/с

териала от времени и провести анализ полученных соотношений.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Камера сгорания 1 соединена с экспозиционной камерой 2 переходным рукавом 3, оснащенным устройством теплового блокирования. В камере установлен экранированный электронагревательный излучатель 4 и держатель образца 5 на подвижной основе.

Камера сгорания объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$. На боковой стенке камеры имеется окно из кварцевого стекла для наблюдения за образцом при испытаниях, а также шиберные отверстия для изменения режимов испытания.

Экспозиционная камера представляет собой кубический объем ($0,5887 \text{ м}^3$) с конусообразной верхней частью. На двух боковых стенках устроены шиберные отверстия.

Держатель образцов расположен на электронных весах с погрешностью не более $\pm 1 \text{ мг}$, установленных на специальном подвижном столе.

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере размещены 32 низкоинерционные бронированные термодпары с диапазоном измерений от минус 40 до $+1100 \text{ }^\circ\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 1,5t \text{ (}^\circ\text{C)}$.

Для контроля плотности теплового потока, падающего на образец, используется водоохлаждаемый датчик типа датчика Гордона и регистрирующий прибор с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. По-

грешность измерения плотности теплового потока не превышает $\pm 8 \text{ \%}$.

Для непрерывного контроля состава газовой среды в экспозиционной камере применяется многоканальный газоанализатор, измеряющий концентрацию оксида углерода с диапазоном измерений от 0 до 1 % об. и допустимой погрешностью $\pm 10 \text{ \%}$, диоксида углерода — от 0 до 5 % об. и допустимой погрешностью $\pm 10 \text{ \%}$, кислорода — от 0 до 21 % об. и допустимой погрешностью $\pm 10 \text{ \%}$.

Горючие материалы испытывались в режиме пламенного горения, который обеспечивается при температуре испытания $750 \text{ }^\circ\text{C}$ и плотности падающего теплового потока 60 кВт/м^2 .

Предварительно взвешенный образец материала, имеющий комнатную температуру, помещают в держатель образца (вкладыш). С момента выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим открывают заслонку переходного рукава и дверцу камеры сгорания. Вкладыш с образцом без задержки помещают в держатель образца, после чего дверцу камеры сгорания закрывают.

В процессе испытаний в режиме постоянного мониторинга фиксируются концентрации (% об.) CO , CO_2 , O_2 , температура и изменение массы образца.

Удельный коэффициент выделения монооксида углерода L_{CO} в каждый момент времени определяется по формуле

$$L_{\text{CO}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}}}{dt}, \quad (1)$$

где V — внутренний объем установки, м^3 ;

Ψ — массовая скорость выгорания горючего материала, кг/с ;

ρ_{CO} — среднееобъемная плотность CO , кг/м^3 ;

t — время, с.

Интегральная модель расчета тепломассообмена

В работе [10] показано, что среднееобъемная плотность токсичного газа (в частности, CO) может быть описана зависимостью, полученной из аналитического решения уравнений интегральной модели при $\varphi = \text{const}$ и $L_{\text{CO}} = \text{const}$:

$$\rho_{\text{CO}} = K \frac{L_{\text{CO}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}}, \quad (2)$$

где K — коэффициент пропорциональности между среднееобъемной плотностью токсичного газа и отношением $L_{\text{CO}}/Q_{\text{H}}^{\text{P}}$, Дж/м^3 ;

Q_{H}^{P} — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг .

Коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и площади открытой поверхности горючего мате-

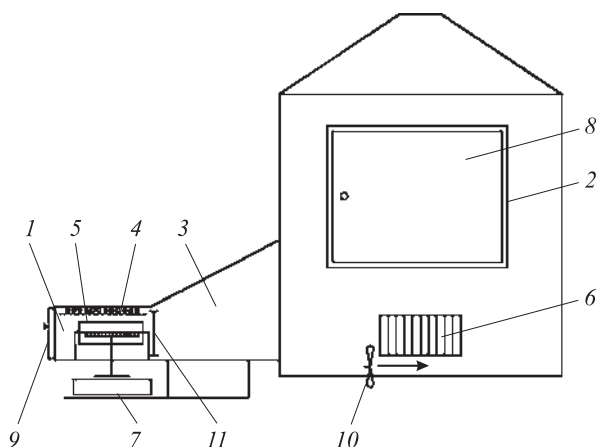


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходной рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — стол для весов; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава

риала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара [10]:

$$K = f(T_{\text{ср}}, T_{\text{в}}, \varphi), \quad (3)$$

где $T_{\text{ср}}$ — среднеобъемная температура газовой среды, К;

$T_{\text{в}}$ — температура воздуха в помещении, К;

φ — коэффициент теплопотерь, равный доле теплоты, выделяющейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции из всего объема помещения.

Для рассматриваемой авторами схемы пожара (см. рис. 1) [10]:

$$K = \frac{2,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{в}}}. \quad (4)$$

Приняв $K/Q_{\text{н}}^{\text{р}} = \rho^*$, преобразуем выражение (2) к виду:

$$\rho_{\text{CO}} = \rho^* L_{\text{CO}}, \quad (5)$$

где ρ^* — характерная плотность, зависящая только от схемы термогазодинамической картины пожара, теплофизических параметров пожара и горючего материала, кг/м³.

Формула (5), выражающая зависимость среднеобъемной плотности СО от среднеобъемной температуры, не содержит геометрических размеров помещения и площади открытой поверхности горючих материалов и, следовательно, является справедливой в условиях как мелкомасштабного, так и крупномасштабного пожара в помещении. Этот вывод подтвержден в работе [11] на основе сопоставления результатов расчетов среднеобъемной плотности монооксида углерода, полученных для полномасштабного помещения с использованием аналитического решения интегральной модели и полной системы уравнений зонной математической модели, с экспериментальными данными, полученными при испытаниях по проточной схеме термогазодинамики пожара [11].

Исходные данные

Рассматриваются следующие горючие материалы [9]:

а) *твердая горючая нагрузка*:

- хвойные древесные стройматериалы: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 13,8$ МДж/кг, $\Psi_{\text{уд}} = 0,0063$ кг/(м² · с), $L_{\text{CO}} = 0,024$ (где $\Psi_{\text{уд}}$ — удельная массовая скорость выгорания горючего материала, кг/(м² · с));
- оболочка кабелей ПВХ: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 25$ МДж/кг, $\Psi_{\text{уд}} = 0,0244$ кг/(м² · с), $L_{\text{CO}} = 0,109$;

б) *жидкая горючая нагрузка*: масло трансформаторное: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 41,9$ МДж/кг, $\Psi_{\text{уд}} = 0,03$ кг/(м² · с), $L_{\text{CO}} = 0,122$.

Критическое значение плотности монооксида углерода $\rho_{\text{CO кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ [9].

Среднее значение коэффициента теплопотерь φ определялось расчетом с использованием формулы (5), в которой $\rho_{\text{CO}} = \rho_{\text{CO кр}}$. Среднеобъемная температура $T_{\text{ср}}$ равна температуре, при которой $\rho_{\text{CO}} = \rho_{\text{CO кр}}$. Значения $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ принимались по работе [9], а L_{CO} — по результатам эксперимента путем осреднения по времени выражения (1).

Результаты численных и натурных экспериментов и их анализ

Эксперименты проводились до температур газовой смеси внутри помещений, не превышающих критического для человека значения, равного 70 °С [9].

Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода $\rho_{\text{CO ср}}$ от повышения среднеобъемной температуры $\Delta T_{\text{ср}}$ представлены на рис. 3 для случая горения хвойных древесных стройматериалов, на рис. 4 — трансформаторного масла и на рис. 5 — оболочки кабелей ПВХ.

При расчете по формуле (5) величина $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ принималась по данным работы [9], а среднее значение L_{CO} — по результатам проведенных экспериментов.

Зависимости среднеобъемной концентрации кислорода от времени приведены на рис. 6 для горения хвойных древесных стройматериалов, трансформаторного масла и оболочки кабелей ПВХ.

Зависимости удельной массовой скорости газификации горючего материала от времени испытаний приведены на рис. 7.

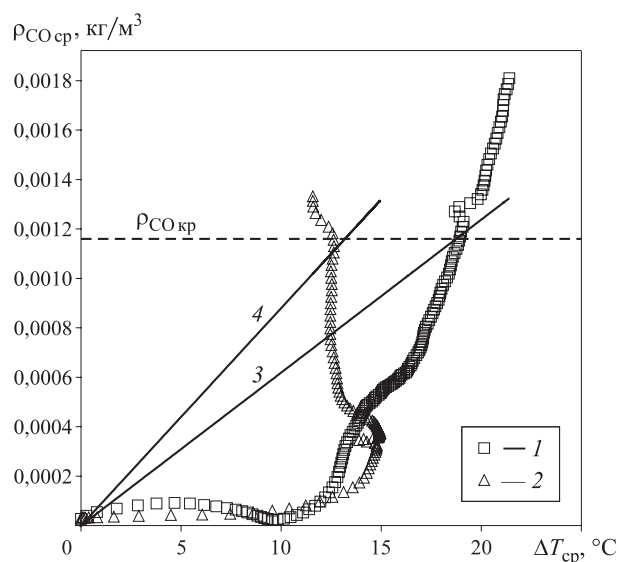


Рис. 3. Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной температуры при горении хвойных древесных стройматериалов, полученные экспериментально (1, 2) и расчетом по формуле (5) (3, 4): 1 — $F = 0,0072$ м²; 2 — $F = 0,0145$ м²; 3 — $\varphi = 0,97$, $F = 0,0072$ м²; 4 — $\varphi = 0,98$, $F = 0,0145$ м²; F — площадь поверхности образца

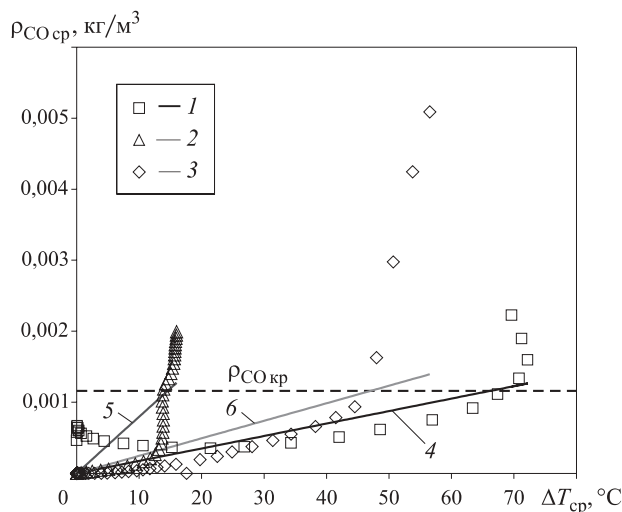


Рис. 4. Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной температуры при горении трансформаторного масла ($F = 0,01 \text{ м}^2$), полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (5) (4–6): 1 — $\delta = 2,85 \text{ мм}$; 2 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 3 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 4 — $\varphi = 0,88$; 5 — $\varphi = 0,97$; 6 — $\varphi = 0,90$; δ — толщина слоя трансформаторного масла в кювете

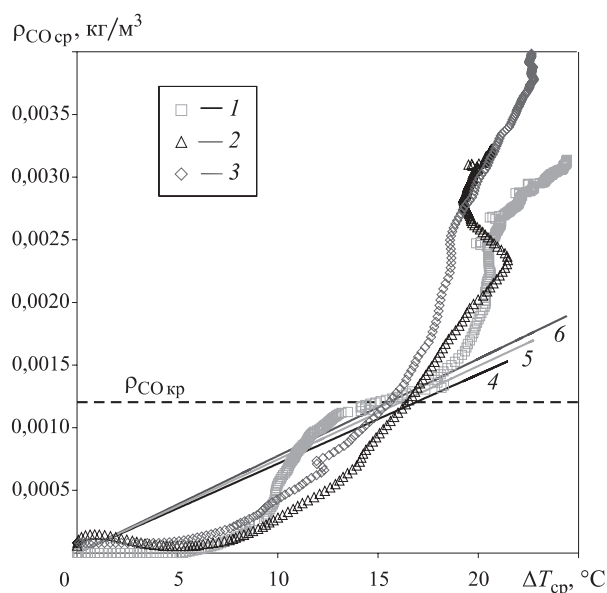


Рис. 5. Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной температуры при горении оболочки кабелей ПВХ, полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (5) (4–6): 1 — $\varphi = 0,97$, $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 2 — $\varphi = 0,97$, $F = 0,0059 \text{ м}^2$; 3 — $\varphi = 0,98$, $F = 0,012 \text{ м}^2$; 4 — $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 5 — $F = 0,0059 \text{ м}^2$; 6 — $F = 0,012 \text{ м}^2$

Средние за время проведения экспериментов значения $\Psi_{\text{уд}}$ составляли:

- для хвойных древесных строительных материалов — $0,0072$ и $0,0068 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (по [9] $\Psi_{\text{уд}} = 0,0063 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$);
- для оболочек кабелей ПВХ данные не получены из-за неопределенности площади горения;

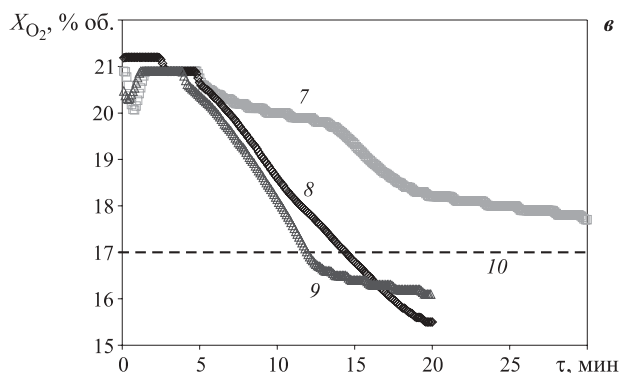
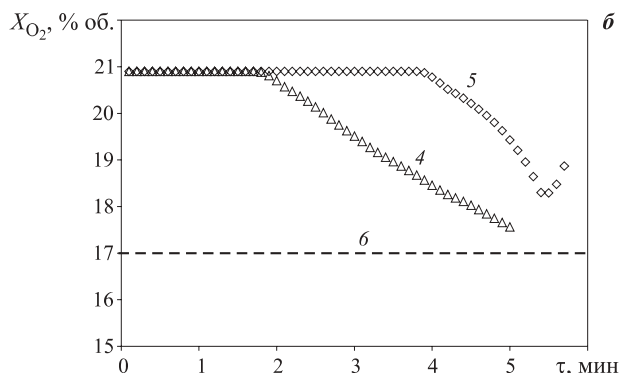
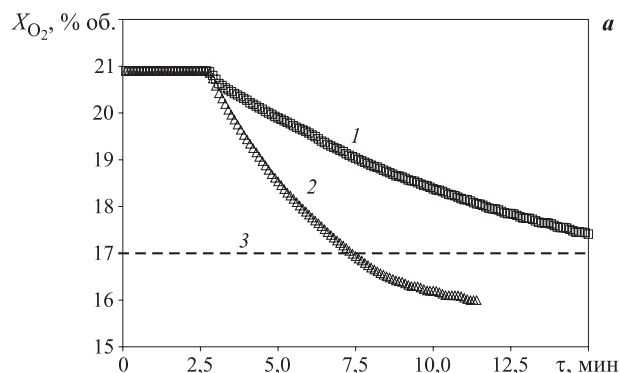


Рис. 6. Экспериментальные зависимости среднеобъемной концентрации кислорода от времени: а — хвойные древесные строительные материалы: 1 — $F = 0,0072 \text{ м}^2$; 2 — $F = 0,0145 \text{ м}^2$; 3 — $X_{\text{O}_2, \text{кр}} = 17\%$ [9]; б — трансформаторное масло: 4 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 5 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 6 — $X_{\text{O}_2, \text{кр}} = 17\%$ [9]; в — оболочка кабелей ПВХ: 7 — $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 8 — $F = 0,0059 \text{ м}^2$; 9 — $F = 0,012 \text{ м}^2$; 10 — $X_{\text{O}_2, \text{кр}} = 17\%$ [9]; X_{O_2} — объемная концентрация кислорода; $X_{\text{O}_2, \text{кр}}$ — критическое значение объемной концентрации кислорода

- для масла трансформаторного — $0,022$; $0,007$ и $0,018 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (по [9] $\Psi_{\text{уд}} = 0,03 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$).

Существенные различия в значениях $\Psi_{\text{уд}}$ при горении трансформаторного масла в трех экспериментах объясняются разной толщиной слоя масла в кювете.

На рис. 8 представлены зависимости удельных коэффициентов образования СО от времени. Результаты экспериментов показали, что значения удельных коэффициентов образования СО (см. рис. 8) и, соответственно, плотности СО (см. рис. 3–5) незна-

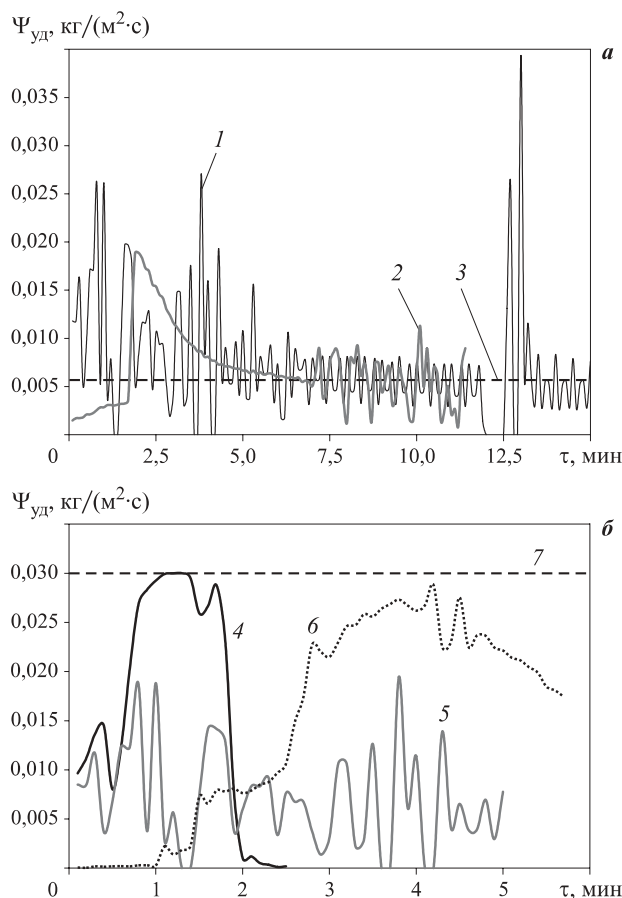


Рис. 7. Зависимости удельной массовой скорости газификации горючего материала от времени с начала горения: *а* — хвойные древесные стройматериалы: 1 — $F = 0,0072 \text{ м}^2$; 2 — $F = 0,0145 \text{ м}^2$; 3 — $\Psi_{\text{уд}} = 0,0063 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [9]; *б* — трансформаторное масло: 4 — $\delta = 2,85 \text{ мм}$; 5 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 6 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 7 — $\Psi_{\text{уд}} = 0,03 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [9]

чительны на начальной стадии горения, когда концентрация кислорода практически не меняется (см. рис. 6). При снижении концентрации O_2 выделение СО резко увеличивается и плотность СО быстро достигает критического значения (см. рис. 3–5). Таким образом, допущение о постоянстве L_{CO} на начальной стадии пожара, принятое в работах [7–9, 12, 13], не отражает реальной термогазодинамической картины развития пожара.

Из рис. 3–5 видно, что расчет по выражению (5) с использованием полученных из экспериментов средних значений L_{CO} и φ достаточно точно определяет среднеобъемную температуру в момент времени, когда $\rho_{\text{CO}} = \rho_{\text{CO кр}}$.

Среднеобъемная плотность СО в начальный промежуток времени существенно меньше теоретического значения, полученного при допущении $L_{\text{CO}} = \text{const}$ (см. рис. 3 (кривые 3 и 4), рис. 4 (кривые 4–6), рис. 5 (кривые 4–6)).

Средние по времени проведения экспериментов значения L_{CO} представлены в таблице. Анализ дан-

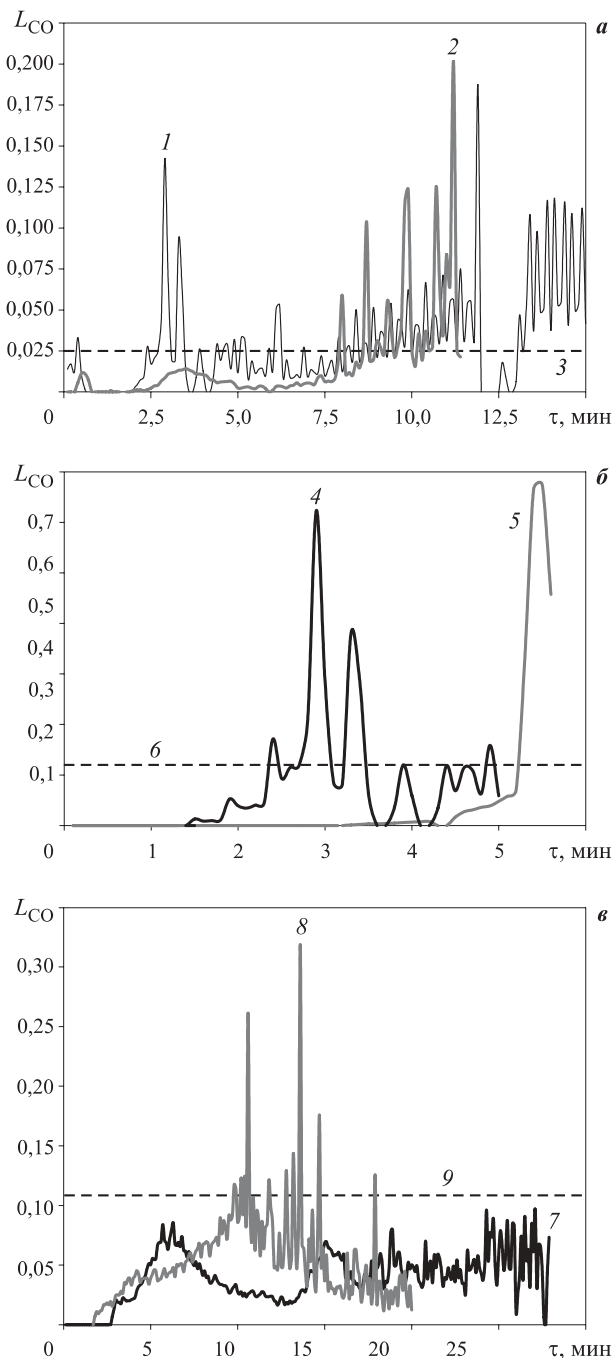


Рис. 8. Зависимости удельных коэффициентов образования СО от времени с начала горения: *а* — хвойные древесные стройматериалы: 1 — $F = 0,0072 \text{ м}^2$; 2 — $F = 0,0145 \text{ м}^2$; 3 — $L_{\text{CO}} = 0,024$ [9]; *б* — трансформаторное масло: 4 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 5 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 6 — $L_{\text{CO}} = 0,122$ [9]; *в* — оболочка кабелей ПВХ: 7 — $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 8 — $F = 0,012 \text{ м}^2$; 9 — $L_{\text{CO}} = 0,109$ [9]

ных таблицы показывает, что в зависимости от времени осреднения величина L_{CO} может изменяться для хвойных древесных стройматериалов в 2,63 раза, для оболочки кабелей ПВХ — в 1,8 раза и масла трансформаторного — в 5,1 раза.

Существенное отличие значений L_{CO} от представленных в работе [9] можно объяснить как различием условий проведения экспериментов, так и тем,

Средние по времени проведения экспериментов значения L_{CO}

Горючий материал	Условия проведения эксперимента	Время осреднения L_{CO} , мин	ρ_{CO} в конце промежутка осреднения, кг/м ³	Значение L_{CO}	
				среднее	по [9]
Хвойные древесные стройматериалы	$F = 0,0072 \text{ м}^2$	11,6	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,017	0,024
		15,0	$1,81 \cdot 10^{-3}$	0,029	
	$F = 0,0145 \text{ м}^2$	8,0	$5,00 \cdot 10^{-4}$	0,006	
		10,9	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,011	
Оболочка кабелей ПВХ	$F = 0,0067 \text{ м}^2$	12,7	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,032	0,109
		27,9	$3,00 \cdot 10^{-3}$	0,028	
	$F = 0,012 \text{ м}^2$	7,6	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,035	
		20,0	$3,00 \cdot 10^{-3}$	0,050	
Масло трансформаторное	$F = 0,01 \text{ м}^2; \delta = 1,15 \text{ мм}$	3,5	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,042	0,122
		5,0	$2,00 \cdot 10^{-3}$	0,056	
	$F = 0,01 \text{ м}^2; \delta = 7,3 \text{ мм}$	5,4	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,012	
		5,7	$5,10 \cdot 10^{-3}$	0,061	

что химический состав оболочки кабелей ПВХ и масла трансформаторного в настоящей работе и в публикации [9] может значительно отличаться друг от друга. Кроме того, в данных опытах не измерялась влажность хвойных древесных стройматериалов.

Заключение

Эксперименты, проведенные на мелкомасштабной установке в условно герметичном объеме, показали, что удельные коэффициенты выделения СО значительно изменяются по времени с начала горения

и их средние значения существенно зависят от периода осреднения по времени испытаний.

Необходимо продолжение экспериментальных исследований с целью обоснования методики получения опытных значений удельных коэффициентов выделения монооксида углерода, являющихся исходными данными для математических моделей расчета динамики опасных факторов пожара в полномасштабном помещении. Испытания будут выполнены на мелкомасштабной установке как по условно герметичной, так и по проточной схемам течения [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белешиников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 1996. — 24 с.
2. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов: Принципы и методы определения. — СПб. : Химия, 1993. — 136 с.
3. NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2003. — P. 269-1–269-18.
4. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
5. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
6. NFPA 92B. Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1990.
7. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator (Version 6). NIST Special Publication 1018. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. — 149 p.
8. Welch S., Rubini P. SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide. — United Kingdom, Cranfield : Cranfield University, 1996. — 340 p.
9. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
10. Пузач С. В., Пузач В. Г., Доан В. М. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 4–13.

11. Пузач С. В., Сулейкин Е. В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13–20.
12. Tanaka T., Yamada S. BRI2002: Two layer zone smoke transport model. Chapter 1. Outline of the model // Fire Science and Technology. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
13. Hansell G. O., Morgan H. P. Design approaches for smoke control in atrium buildings. Report BRE 258. — UK, Garston : Building Research Establishment, 1994. — 57 p.

Материал поступил в редакцию 18 марта 2016 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Акперов Р. Г. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18–25.

English

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE SPECIFIC COEFFICIENT OF RELEASE OF CARBON MONOXIDE DURING A FIRE IN THE ROOM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, the Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: puzachsv@mail.ru)

AKPEROV R. G., Lecturer, Fire Safety in Building Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: akperov01@mail.ru)

ABSTRACT

An experimental installation for small-scale modeling of thermal and gas dynamics of fire in conventionally sealed volume during the combustion of solid and liquid combustible substances and materials is created. The plant consists of a combustion chamber and the exposure chamber in which there are measured the current mass of combustible material, the temperature of heat source, the mean volume temperature and mean volume gas concentrations in the gas mixture.

Analytical dependence for calculating the mean volume density of carbon monoxide is proposed. It is shown that the above mentioned density does not depend on the properties of the combustible material, sizes of the room and the area of the exposed surface of the fuel material. Thus, the above relationship is valid in a small-scale and large-scale conditions of fires in the room.

Experimental dependences between mean volume density of carbon monoxide and the mean volume temperature are obtained. Experimental dependences of the coefficients of the specific release of carbon monoxide and specific gasification mass rates from testing time during the combustion of coniferous wood, transformer oil and PVC sheath cables are received. It was found that the above coefficients are substantially unsteady.

A comparison of experimental results with those of literary sources and the analytical solution of the integral model is presented. The essential difference between the obtained values of L_{CO} and the provided ones in the literature can be explained by differences in the experimental conditions. Also the chemical compositions of the PVC sheath cables and transformer oil in this paper and in the published ones may differ significantly from each other. Furthermore, in these experiments there was not measured humidity of coniferous wood materials.

It is shown that the values of the specific release coefficient and density of carbon monoxide are insignificant in the initial stage of burning when the oxygen concentration remains practically unchanged. By reducing the concentration of the oxygen emission of carbon monoxide increases dramatically and the density of carbon monoxide quickly reaches its critical value.

It was found that the average value of the specific release coefficient of carbon monoxide depends essentially on the averaging period of the time. Averaging value can be changed in the case of

coniferous wood materials in 2.63 times, for cable sheathing PVC — 1.8 times and transformer oil — 5.1 times.

Keywords: fire; modeling; carbon monoxide; specific coefficient of release of carbon monoxide; specific mass speed of gasification.

REFERENCES

1. Beleshnikov I. L. *Sudebno-meditsinskaya otsenka sodержaniya tsianidov v organakh i tkanyakh lyudey, pogibshikh v usloviyakh pozhara: avtoref. dis. kand. med. nauk* [Forensic medical assessment of the content of cyanide in the organs and tissues of people who died in a fire. Abstr. cand. med. sci. diss.]. Saint Petersburg, 1996. 24 p.
2. Ilichkin V. S. *Toksichnost produktov goreniya polimernykh materialov: Printsipy i metody opredeleniya* [Toxicity of combustion products of polymeric materials: Principles and methods of determination]. Saint Petersburg, Khimiya Publ., 1993. 136 p.
3. *NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2003, pp. 269-1–269-18.
4. Puzach S. V., Smagin A. V., Lebedchenko O. S., Abakumov E. S. *Novyye predstavleniya o raschete neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey i ob effektivnosti ispolzovaniya portativnykh filtruyushchikh samospasateley pri evakuatsii na pozharakh* [New ideas about the calculation of necessary time of evacuation of people and the effectiveness of using a portable filter self-rescuers during evacuation at fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 222 p.
5. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvbezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems of fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.
6. *NFPA 92B. Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 1990.
7. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator (Version 6)*. National Institute of Standards and Technology. Special Publication 1018. Gaithersburg, 2013. 149 p.
8. Welch S., Rubini P. *SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide*. United Kingdom, Cranfield, Cranfield University, 1996. 340 p.
9. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
10. Puzach S. V., Puzach V. G., Doan V. M. K opredeleniyu pokazatelya toksichnosti produktov goreniya goryuchikh veshchestv i materialov v pomeshchenii [To definition of toxic potency of combustion products of combustible materials in compartment]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 4–13.
11. Puzach S. V., Suleykin E. V. *Novyy teoretiko-eksperimentalnyy podkhod k raschetu rasprostraneniya toksichnykh gazov pri pozhare v pomeshchenii* [New united theoretical and experimental approach to the calculation of the distribution of toxic gases in case of fire in the room]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
12. Tanaka T., Yamada S. *BRI2002: Two layer zone smoke transport model. Chapter 1. Outline of the model. Fire Science and Technology*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
13. Hansell G. O., Morgan H. P. *Design approaches for smoke control in atrium buildings. Report BRE 258*. UK, Garston, Building Research Establishment, 1994. 57 p.

For citation: Puzach S. V., Akperov R. G. Eksperimentalnoye opredeleniye udelnogo koeffitsiyenta obrazovaniya monoksida ugleroda pri pozhare v pomeshchenii [Experimental determination of the specific coefficient of release of carbon monoxide during a fire in the room]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.

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

УДК 614.841.41:45:46

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ ОПЕРАТИВНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Рассмотрены проблемы обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики в разрезе оценки влияния опасных факторов пожара на ход тушения пожара. Обосновано, что наибольшее влияние на начало своевременного тушения пожара оказывает задымление помещений и сооружений объектов энергетики. Показано, что важность своевременности тушения пожаров на объектах энергетики заключается в особом характере их производственного процесса, остановка которого может оказать влияние на жизнедеятельность значительной части населения. Проанализированы способы и средства обеспечения тушения пожаров в условиях задымления. Определены направления дальнейшего совершенствования обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики.

Ключевые слова: пожар; тушение пожара; объект энергетики; дым; условия недостаточной видимости; дымоудаление; дымоосаждение; тактическое вентилирование.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.26-36

Объекты энергетики, являющиеся основой энергетического сектора, в целом можно рассматривать как связанную сложную структуру, которая производит электроэнергию и транспортирует ее до потребителя. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года определяет главные стратегические ориентиры страны, одним из которых является энергетическая безопасность как важный элемент национальной безопасности государства [1].

Возникновение нештатной ситуации на отдельном объекте энергетики может привести к аварийной работе системы. Так, 25 мая 2005 г. из-за пожара на подстанции “Чагино” произошла крупная авария в энергосистеме, в результате которой без электроэнергии остались целые районы на территории Москвы, Московской, Тверской, Рязанской и Калужской областей [2]. Данная авария показала, что даже незначительное событие при совокупности других факторов (износ оборудования, действия персонала, уровень потребления электроэнергии, температура окружающей среды) может нарушить работу значительной части энергосистемы.

Крупные пожары на объектах энергетики чаще происходят в холодное время года, когда они работают с повышенной нагрузкой. Такие пожары тушить очень сложно из-за наличия большого количества электрооборудования под высоким напряжением, а также горючей нагрузки в виде турбинного, трансформаторного масла, изоляции кабелей.

Наиболее частыми причинами возникновения пожаров на объектах энергетики за последние пять

лет являлись: нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования (73 %); неосторожное обращение с огнем (17 %); неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства (11 %) [3]. Всего на объектах энергетики за этот период произошло почти 4000 пожаров. На рис. 1 показано распределение количества пожаров и прямого ущерба от них по годам.

Как видно из рис. 1, количество пожаров в 2014 г. сократилось на четверть по сравнению с 2009 г. В то же время прямой ущерб в 2014 г. составил порядка 114 млн. руб., что практически в два раза больше, чем в 2009 г. Статистические данные подтверждают, что общий материальный ущерб на объектах энергетики в значительной мере формируется из ущербов от последствий крупных пожаров [4]. Весьма вероятна ситуация, при которой один пожар может нанести ущерб, сопоставимый с ущербом от всех пожаров на аналогичных объектах за определенный период.

Следует отметить, что косвенный ущерб, как правило, больше прямого. Дело в том, что при пожаре приходится останавливать процесс производства энергии и перераспределять мощности на другие производительные силы. Это приводит к повышенной нагрузке, что, в свою очередь, в случае недостатка резерва мощности и при сочетании других факторов (уровень потребления, действия персонала и др.) может спровоцировать системную аварию, подобную аварии в энергосистеме г. Москвы в 2005 г.

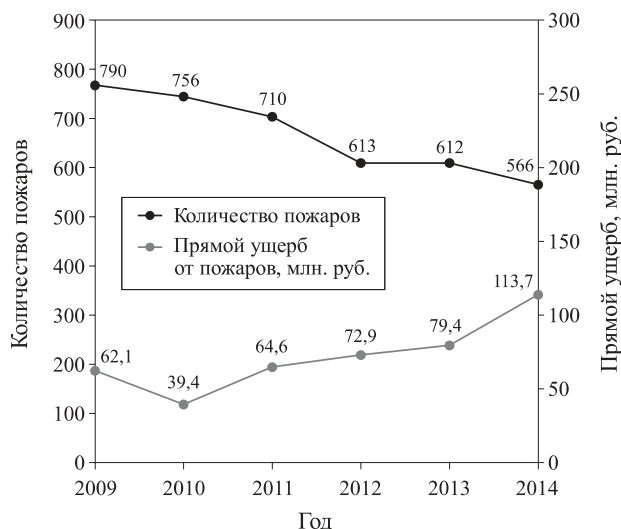


Рис. 1. Количество пожаров и прямой ущерб от них на объектах энергетики за 2009–2014 гг.

При этом косвенный ущерб, связанный с вынужденным прекращением работы объекта энергетики, может носить и социальный характер, выраженный в нарушении жизнедеятельности значительной части населения.

1 февраля 2016 г. в 7 ч 41 мин по местному времени системой технологической защиты был отключен энергоблок № 3 Березовской ГРЭС в Шарыповском районе Красноярского края. В котельном отделении на 20-й отметке было обнаружено сильное задымление.

На место задымления оперативно прибыли сотрудники пожарно-аварийной службы «Сирена», которые провели все необходимые в подобных случаях мероприятия. Задымление значительно затруднило обнаружение очага горения в условиях разновысоких отметок размещения оборудования. В результате площадь возгорания составила 850 м².

По данным Минэнерго, при осмотре оборудования станции было обнаружено возгорание мазута в котельном цехе в районе нового, запущенного в декабре 2015 г., энергетического котла № 3 на отметках 20 и 26 м. По предварительным данным причиной пожара явилось повреждение мазутопровода.

В результате пожара станция получила следующие повреждения: деформацию металлоконструкций кровли над энергетическим котлом № 3 на площади около 300 м²; деформацию металлоконструкций технологических площадок энергетического котла № 3 (рис. 2).

Основные опасения вызывало состояние корпуса котла, и особенно ключевых вертикальных подвесных стоек, на которых держится котел высотой 106 м и массой 25 т. В этих условиях важно оценить, каков характер и степень повреждений этих стоек и не приведут ли они к потере котлом вертикального



Рис. 2. Общий вид последствий пожара 1 февраля 2016 г. на энергоблоке № 3 Березовской ГРЭС в Шарыповском районе Красноярского края

положения. Как подчеркивают специалисты, это самый опасный вид повреждений, а остальные, как правило, могут быть устранены. Окончательные последствия пожара устанавливаются по результатам соответствующих экспертиз. Финансовыми аналитиками прогнозируются следующие сценарии:

- частичная потеря оборудования:* полное восстановление в течение полугода при дополнительных капиталовложениях 2,5 млрд. руб. и недополученных доходах (только в течение 2016 г.) 2,5 млрд. руб.;
- значительная потеря оборудования:* полное восстановление в течение 1–1,5 лет при дополнительных капвложениях 5 млрд. руб. и недополученных доходах (в течение 2016 г. и частично 2018–2019 гг.) 10 млрд. руб.;
- потеря котла:* восстановление в течение 18–24 мес при дополнительных капвложениях 8–10 млрд. руб. и недополученных доходах (в течение ближайших 4 лет) 22 млрд. руб. [5].

Так как речь идет о свершившемся факте — возникшем пожаре, вполне закономерно заключить, что минимизации последствий пожара на объекте энергетики следует добиваться путем своевременного тушения пожара.

Своевременность тушения пожара следует рассматривать как возможность ликвидировать пожар имеющимися силами и средствами с наименьшими последствиями. От своевременности действий по тушению пожара зависит время горения (распространения пожара) и масштабы, которые он может принять. Соответственно, чем быстрее начнется тушение пожара, тем меньше вероятность развития его в более крупный пожар.

Время прибытия подразделений пожарной охраны является одним из основных факторов, которые влияют на конечный результат тушения пожаров. Согласно предоставленным ФГБУ ВНИИПО

МЧС России данным за 2009–2014 гг. среднее время прибытия подразделений пожарной охраны на объекты энергетики составляло 7,3 мин [3]. Несмотря на то что оно меньше нормативного времени прибытия [6], один этот фактор не позволяет предотвратить развитие пожара в более крупный на объектах энергетики и тем самым минимизировать ущерб. Это обусловлено сложностью тушения пожаров на таких объектах, связанной с повышенным риском поражения электрическим током, наличием большой горючей нагрузки, сложной планировкой помещений и т. д. Кроме того, в условиях задымления время на выполнение разворачивания сил растет, а значит, будет увеличиваться и время начала подачи огнетушащих веществ (ОТВ).

Например, пожар, который произошел 15 января 2014 г. на дизельной электростанции в Ямало-Ненецком автономном округе, нанес прямой ущерб на 38,3 млн. руб. Несмотря на то что первые подразделения прибыли через 3 мин после сообщения о пожаре, им не удалось быстро локализовать пожар и минимизировать ущерб от него. Сопутствующим фактором большого ущерба явился аварийный выброс горючей жидкости (ГЖ) и ее последующее горение, которое сопровождалось сильным тепловым потоком и задымлением помещения пожара и смежных с ним помещений, что мешало быстрой локализации и ликвидации пожара. Прямой ущерб от данного пожара составил почти треть от годового ущерба от пожаров на объектах энергетики. Из-за пожара была объявлена чрезвычайная ситуация районного масштаба, так как районный центр с численностью населения более 7000 чел. остался без электроэнергии в условиях зимнего времени [7].

Наряду с минимизацией времени начала тушения пожара, основополагающим фактором в успешном выполнении задач по тушению является непрерывность тушения с момента подачи ОТВ до ликвидации пожара. Непрерывность тушения определяется в первую очередь своевременностью сосредоточения необходимых сил и средств подразделений пожарной охраны в достаточном количестве для локализации пожара в тех размерах, которые он принял к моменту начала тушения. Это известная аксиома, на которой строится система тушения пожаров, в том числе для объектов энергетики, поэтому ввиду их особого места в обеспечении благополучия населения она должна соблюдаться в первоочередном порядке.

К сожалению, по статистическим данным проблематично отследить время сосредоточения сил и средств, необходимых для тушения пожара, поэтому судить приходится по росту последствий пожаров после прибытия пожарных подразделений, притом что однозначно связывать данный рост с не-

достаточно рациональными действиями пожарных неверно.

В то же время следует отметить, что расчеты сосредоточения сил и средств пожарной охраны ведутся в первую очередь по организации спасательных работ, во вторую — по достаточности и подаче огнетушащих веществ и в третью — по обеспечению непрерывности тушения пожара.

Непрерывность тушения пожара обеспечивается как бесперебойной подачей огнетушащих веществ, так и возможностью пожарных осуществлять ее непрерывно на протяжении всего периода тушения пожара. Вполне естественно, что это должно быть гармонизировано со своевременностью сосредоточения сил и средств для тушения пожара, поскольку речь идет об одном общем ресурсе — силах и средствах пожарно-спасательного гарнизона.

Схема обеспечения тушения пожара на объекте энергетики представлена на рис. 3.

Система бесперебойной подачи огнетушащих веществ складывается из противопожарного водоснабжения, стационарных и мобильных средств пожаротушения, обеспечивающих установленный расход на протяжении всего периода тушения пожара. Статистические данные показывают, что в период с 2009 по 2014 гг. в 80 % случаев пожары на объектах энергетики тушили водой и водосодержащими ОТВ и только в 3 % — порошком [3].

Несколько по-другому обстоит дело с обеспечением возможности нахождения пожарных на позициях подачи огнетушащих веществ. Это связано с необходимостью применения средств защиты пожарных от опасных факторов пожара (ОФП), чаще всего в условиях непригодной для дыхания среды.

Фактором, лимитирующим нахождение пожарного в условиях воздействия ОФП, является время защитного действия средств защиты. Закономерно заключить, что оно должно превышать время тушения пожара. В случаях, когда это соотношение со-



Рис. 3. Схема обеспечения тушения пожара на объекте энергетики

блюдается, непрерывность тушения пожара определяется своевременностью сосредоточения сил и средств пожарной охраны. Когда же время защитного действия средств защиты пожарных от опасных факторов пожара меньше времени тушения пожара, следует проводить расчет мер по непрерывному обеспечению защиты пожарных от ОФП на позициях подачи огнетушащих веществ на период тушения пожара.

Данный расчет должен учитывать ряд факторов, увязывающих между собой масштаб и особенности потенциального пожара на объекте энергетики с возможностями пожарно-спасательного гарнизона.

Весьма показателен тот факт, что на фоне снижения числа пожаров на объектах энергетики возрастает частота применения пожарными средств защиты, обеспечивающих их безопасную работу в условиях непригодной для дыхания среды (задымления) (рис. 4).

Начинать расчет следует с детализации объекта энергетики как комплекса зданий и сооружений, особенности которых способствуют развитию пожаров. Последствия пожаров на открытых сооружениях объекта энергетики, как правило, не приводят к прекращению функционирования объекта как энергопроизводящей мощности, а обеспечение тушения пожаров на них связано в большей степени с подачей огнетушащих веществ.

Для замкнутых объемов зданий и сооружений объектов энергетики доступ к зоне горения затрудняется сложной планировкой помещений, наличием значительной пожарной нагрузки, открытых токоведущих частей.

Необходимость отключения электрооборудования и сложная планировка помещений препятствуют быстрому введению сил для тушения пожара, а большая горючая нагрузка способствует интенсивному развитию пожара. Здания энергоблока тепловой, гидравлической, дизельной электростанции, кабельные тоннели и галереи можно выделить как объекты с максимальным средним ущербом от пожара, который объясняется возникновением крупных пожаров в данных зданиях.

Так, средний ущерб от пожаров, происшедших с 2009 по 2014 гг. на объектах энергетики (табл. 1), выше для зданий с большим внутренним объемом, который при пожарах задымляется и требует обеспечения работ по тушению пожара в условиях задымления [3].

Пожары в замкнутых объемах сопровождаются сильным задымлением и снижением видимости, что затрудняет работу пожарных подразделений. При этом для распространения пожара внутри помещения нет преград, а запас воздуха в нем поддерживает горение. Как показали натурные эксперименты,

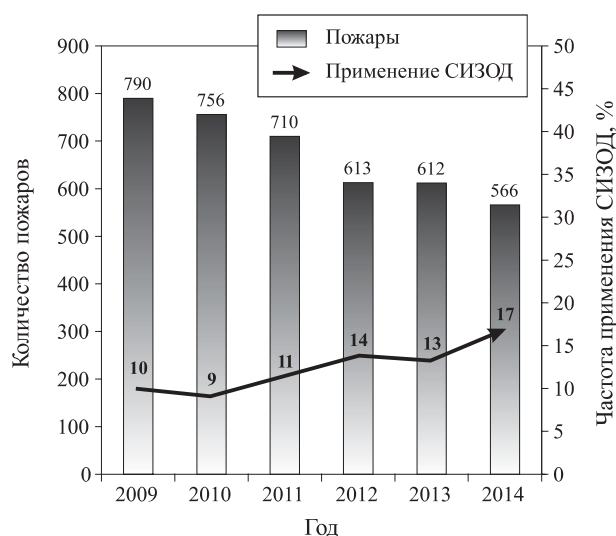


Рис. 4. Частота применения средств защиты органов дыхания (СИЗОД) пожарными при тушении пожаров на объектах энергетики за 2009–2014 гг.

Таблица 1. Средний ущерб от пожара на объектах энергетики

Объект пожара	Средний ущерб от пожара на объекте, тыс. руб.
Здание дизельной электростанции	544,4
Здание энергоблока тепловой или гидравлической электростанции	514,3
Кабельный тоннель, галерея	206,2
Электротрансформаторная подстанция, будка, трансформатор, электродизельная установка	99,2
Здание компрессорной, газогенераторной, водородной и кислородной станции	74,7
Здание котельной	68,1
Здание энергоблока атомной электростанции	21,8
Здание для зарядки и обслуживания аккумуляторных батарей	11,2

при горении турбинного масла на площади 5 м^2 в течение 5 мин видимость снижается до 1 м в машинном зале объемом 8000 м^3 [8]. В таких условиях затрудняется разведка и тушение пожара в целом, что приводит к повышенному риску для жизни и здоровья пожарных и повышенной вероятности развития крупномасштабной аварии для энергетического сектора.

Плотность задымления и, соответственно, дальность видимости при пожарах на объектах энергетики в первую очередь зависят от вида горючей нагрузки, которая участвует в горении, от площади пожара и интенсивности теплового потока [9]. На обстановку на пожаре (площадь пожара и опасные

Таблица 2. Процентное отношение и количество пожаров в зависимости от материала, на котором или от которого непосредственно возник пожар, по видам объектов пожаров

Объект пожара	Доля пожаров, % от общего количества пожаров на объекте / Количество пожаров							
	Изоляция токоведущих частей	Деревянные изделия	ЛВЖ и ГЖ	Материал не установлен	Отделочные и строительные материалы	Мусор	Теплоизоляция	Прочие материалы
Здание энергоблока тепловой или гидравлической электростанции	43/23	11/6	11/6	6/3	6/3	4/2	15/8	4/2
Здание энергоблока атомной электростанции	50/1	50/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Здание дизельной электростанции	33/31	23/22	14/13	6/6	16/15	0/0	7/7	1/1
Здание котельной	11/154	39/537	7/94	7/103	18/254	6/82	6/78	5/75
Здание компрессорной, газогенераторной, водородной и кислородной станции	35/36	15/15	13/13	17/18	7/7	1/1	4/4	9/9
Здание для зарядки и обслуживания аккумуляторных батарей	39/7	17/3	6/1	17/3	11/2	11/2	0/0	0/0
Трансформаторная подстанция, будка, трансформатор, электродизельная установка	68/1490	5/15	10/0	8/12	2/2	3/30	2/4	1/1
Кабельный тоннель, галерея	63/108	9/15	0/0	7/12	1/2	17/30	2/4	1/1
Всего	46/1850	17/699	9/354	8/327	8/325	6/179	4/146	2/117

факторы пожара) во многом влияет количество и состав горючей нагрузки. Согласно представленным в табл. 2 данным можно выделить основные материалы, участвующие в горении: изоляционные материалы токоведущих частей, легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и ГЖ, деревянные и бумажные изделия.

Как видно из табл. 2, почти половина пожаров происходит с участием изоляционных материалов токоведущих частей и достаточно большая часть — с участием горючих жидкостей. Это в большинстве своем пожары с большим экономическим ущербом (табл. 3), так как горючие жидкости на объектах энергетики используются в больших объемах в машинных залах в виде машинного масла и в трансформаторах, где их количество оценивается тоннами.

Изоляция токоведущих частей и горючие жидкости характеризуются высокой массовой скоростью выгорания и дымообразующей способностью по сравнению, например, с деревянными изделиями. Если учесть, что с момента обнаружения пожара и введения первых стволов в среднем проходит 13,5 мин, то пожарные будут работать в условиях высоких температур и сильного задымления [3].

От теплового излучения, температуры, токсичных продуктов пожарных достаточно эффективно защищает экипировка [10], но обеспечение приемлемой зоны видимости для работы в дыму до сих пор остается актуальной проблемой.

Сегодня пожарные подразделения для улучшения условий работы на пожаре организуют дымоудаление при помощи мобильных средств управле-

Таблица 3. Ущерб от пожаров на объектах энергетики в зависимости от материала, который воспламенился от источника зажигания либо на котором или от которого непосредственно возник пожар, за период 2009–2014 гг.

Материал	Доля от общего числа пожаров, %	Доля от общего ущерба пожаров, %	Средний ущерб от пожара, тыс. руб.	Общий ущерб от пожаров, млн. руб.
Изоляция токоведущих частей	46	58	135,2	250,1
Деревянные изделия	17	8	49,5	34,6
ЛВЖ и ГЖ	9	20	239,1	84,6
Материал не установлен	8	4	49,2	16,1
Отделочные и строительные материалы	8	3	33,4	10,9
Мусор	6	1	30,1	5,4
Теплоизоляция	4	3	98,4	14,4
Прочие материалы	2	4	137,0	16,0

ния дымовыми и воздушными потоками [11]. Однако этот метод имеет ряд ограничений. С одной стороны, существует опасность увеличения масштаба пожара за счет притока воздуха в зону горения и последующей его интенсификации. С другой стороны, удаление дыма из помещений требует наличия дополнительных объемов, в которые дым следует направить. Как правило, данный прием эффективен при примыкании задымленных помещений к внешним ограждениям здания или сооружения, что не всегда характерно для объектов энергетики. Кроме того, значительный объем задымленных помещений и сооружений объектов энергетики превышает технические возможности мобильных средств управления дымовыми и воздушными потоками [12].

Применение стационарных систем противодымной защиты также не может в полной мере обеспечить достаточную видимость при тушении пожаров, поскольку данные системы призваны обеспечивать возможность использования путей эвакуации, причем иногда лишь в течение необходимого для этого времени. Пожары же, как известно, на путях эвакуации возникают весьма редко. При пожарах на объектах энергетики за последние пять лет зафиксирован лишь один случай эффективной работы системы противодымной защиты [3]. Предусматривать же расширение системы противодымной защиты на большее число помещений объектов энергетики не представляется целесообразным как по экономическим, так и по техническим причинам.

Например, помещения щитов управления электростанций не предусматривается оборудовать системой противодымной защиты, в то время как персонал этих подразделений должен продолжать выполнение своих обязанностей и в условиях задымления. В качестве меры защиты принято использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания.

В процессе тушения пожаров на объектах энергетики обеспечение необходимой видимости позволит значительно снизить риск получения травм [13]. Кроме того, при достаточной видимости пожарные смогут более эффективно справляться с поставленными задачами, что позволит сократить время ликвидации пожара и, как следствие, уменьшить прямой и косвенный ущерб.

При применении таких ОТВ, как вода и пена, существует повышенный риск получить травму от тока утечки при тушении электрооборудования, находящегося под напряжением. На объектах энергетики имеется оборудование, отключение которого может повлечь за собой еще более опасную чрезвычайную ситуацию, чем пожар, в особенности на атомных электростанциях. Поэтому нельзя исключать такого случая, при котором пожарным придется тушить оборудование, находящееся под напряжением.

В настоящее время активно ведутся исследования по определению безопасных расстояний, с которых можно тушить электрооборудование, находящееся под напряжением, разными огнетушащими веществами [14]. Данные исследования показали, что при соблюдении определенных параметров (расстояние, напор на стволе) тушение можно производить без ущерба для здоровья водой и водосодержащими ОТВ [15–17]. Однако в задымленном помещении определить расстояние до токоведущих частей и оборудования под напряжением не представляется возможным, что не позволяет использовать для тушения токопроводящие вещества.

Обеспечение тушения пожаров на объектах энергетики представляет собой комплекс мер, совокупность которых дает возможность обеспечить своевременное тушение пожара (рис. 5).

Возможным методом локализации пожара в помещении с наличием опасных для жизни и здоровья человека факторов является объемное тушение, не предусматривающее вход человека в помещение пожара. Вполне закономерно, что стационарными

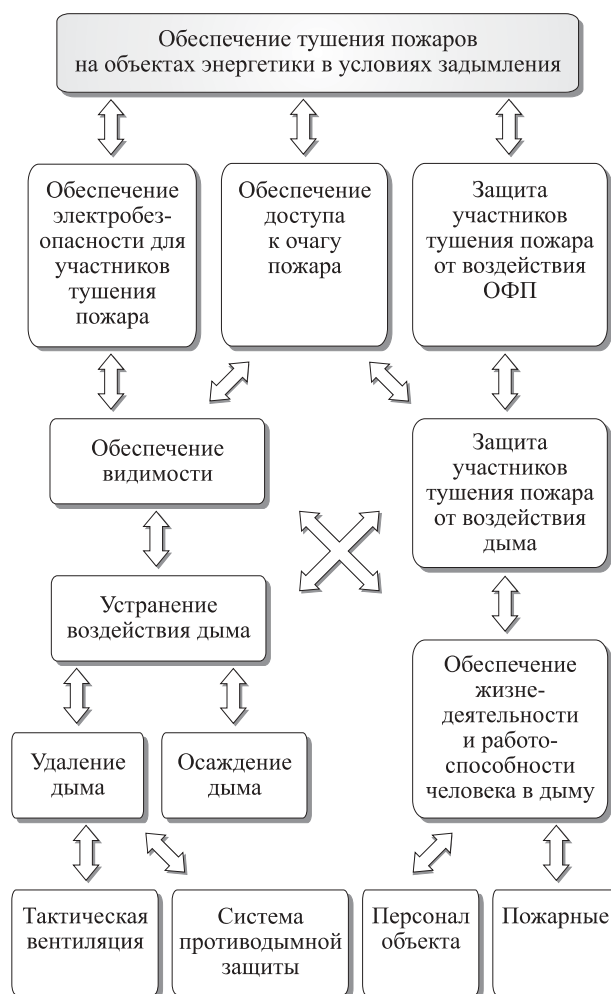


Рис. 5. Комплекс мер по обеспечению тушения пожара на объекте энергетики

средствами не может быть обеспечено объемное пожаротушение всех или большинства помещений объекта энергетики по технико-экономическим соображениям.

В связи с этим применение данного метода возможно при реализации объемного пожаротушения мобильными средствами пожаротушения. Сложность при этом состоит в создании требуемого запаса огнетушащего вещества, которое сможет обеспечить огнетушащую концентрацию в помещении пожара, а также в обеспечении герметичности помещения пожара [18].

Применение объемного тушения в большинстве случаев не может заменить комплекс мер по обеспечению тушения пожара, так как необходимо иметь доступ к помещению пожара, а путь к нему пролегал через задымленные помещения.

Особенностью обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики является необходимость сохранения работоспособности объекта и, как следствие, необходимости обеспечения работоспособности части персонала (оперативного персонала) в условиях пожара [19–21].

Таким образом, своевременности тушения пожаров на объектах энергетики можно достигнуть путем обеспечения процесса подачи огнетушащих веществ по следующим направлениям и их дальнейшего развития:

1) *принятие мер по улучшению видимости и снижению воздействия дыма на человека при пожарах на объектах энергетики:*

- рассмотрение целесообразности оборудования стационарными системами обеспечения жизнедеятельности персонала помещений щитов управления объектов энергетики;
- развитие методов дымоудаления из задымленных помещений при помощи мобильных средств управления дымовыми и воздушными потоками, применяемых пожарными, т. е. тактической вентиляции;
- исследование возможности осаждения дыма непосредственно в задымленных помещениях при помощи стационарных и мобильных средств;

2) *обеспечение жизнедеятельности и работоспособности участников тушения пожаров на объектах энергетики:*

- нормативная основа и организация действий персонала объектов энергетики в условиях пожара;
- допуск персонала к работе в условиях задымления;
- организация подготовки персонала к работе в условиях задымления и модернизация технических средств подготовки;

- апробация длительного нахождения человека в непригодной для дыхания среде;
- направленная физиолого-психологическая подготовка;

3) *разработка методов и средств защиты для участников тушения пожаров на объектах энергетики от опасных факторов пожара:*

- перспективные способы создания искусственной атмосферы для дыхания;
- совершенствование способов обеспечения жизнедеятельности и работоспособности человека в условиях задымления, направленных на повышение удельного времени защитного действия средств защиты;
- разработка и совершенствование комплекса средств обеспечения работ по тушению пожаров на объектах энергетики;

4) *повышение тактико-технических возможностей пожарных по обеспечению тушения пожаров на объектах энергетики:*

- особенности и основные расчетные закономерности обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики;
- локализация пожаров объемным способом: возможности и перспективы.

Объекты энергетики рассредоточены по всей территории страны и имеются практически в каждом пожарно-спасательном гарнизоне. При этом можно отметить закономерность, согласно которой на территории, охраняемой крупными пожарно-спасательными силами, объекты энергетики крупнее и их больше. Однако и из этого общего правила имеются исключения. Это удаленные от крупных населенных пунктов значимые для энергетики страны объекты, такие как атомные, гидро- и тепловые электростанции. Характер обеспечения тушения пожаров на них отличается от объектов энергетики, расположенных в крупных населенных пунктах, где в течение короткого времени могут быть сосредоточены значительные силы и средства пожарной охраны.

Наибольшую сложность при организации тушения пожаров на объектах энергетики создает задымление горящих и смежных с ними помещений. Поэтому сосредоточение сил и средств тушения пожара на таких объектах следует сопоставлять с той частью сил и средств пожарной охраны, которые потребуются для обеспечения тушения данного пожара из условия снижения опасности для участников тушения пожара [22]. Учитывая, что эти силы и средства предоставляются объектом пожара, в расчет следует принимать и их. Это позволяет говорить о необходимости комплексного подхода к обеспечению тушения пожаров на объектах энергетики в зависимости от их расположения относительно сил и средств пожарной охраны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об энергетической стратегии России на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054 (дата обращения: 04.07.2015).
2. В Москве ликвидируют крупнейшую аварию в энергосистеме. URL: <http://www.1tv.ru/news/social/74370> (дата обращения: 04.09.2015).
3. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
4. Атлас риска пожаров на территории Российской Федерации. — М. : Феория, 2011. — 640 с.
5. И так сойдет, или как турки ГРЭС в Красноярском крае построили. URL: <http://mpsh.ru/7426-i-tak-soydet-ili-kak-turki-gres-v-krasnoyarskom-krae-postroili.html> (дата обращения: 14.02.2016).
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
7. Бессонная ночь в потушем Яр-Сале: ликвидация аварии на электростанции. URL: <http://moyamal.ru/novosti/rn/2139.php> (дата обращения: 14.12.2015).
8. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 432 с.
9. Seader J. D., Chien W. P. Physical aspects of smoke development in an NBS smoke-density chamber // Journal of Fire and Flammability. — 1975. — Vol. 6. — P. 294–310.
10. Ищенко А. Д., Соковнин А. И. Обеспечение деятельности подразделений пожарной охраны на месте пожара // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : сб. статей. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — С. 196–198.
11. Методические рекомендации руководителю тушения пожара по организации и проведению тактической вентиляции зданий и сооружений при тушении и ликвидации последствий ЧС на территории города Москвы. — М. : ГУ МЧС России по г. Москве, 2014. — 78 с.
12. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. — М. : Стройиздат, 1990. — 424 с.
13. Чижиков В. П., Кулев Д. Х. Физико-химические способы борьбы с задымленностью при пожарах. — М. : ГИЦ МВД СССР, 1989. — 56 с.
14. Алешков М. В., Емельянов Р. А., Колбасин А. А., Федяев В. Д. Применение сплошных водных струй при тушении электроустановок под напряжением на объектах атомной энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 4. — С. 17–23.
15. Колбасин А. А. Нормирование требований к средствам тушения электрооборудования под напряжением на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 152 с.
16. Тактика тушения электроустановок, находящихся под напряжением : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 1986. — 16 с.
17. ТИ 1.1.8.01.1017–2015. Типовая инструкция по тушению пожаров на электроустановках под напряжением до 10 кВ. — Введ. 02.12.2015. — М. : ОАО “Концерн Росэнергоатом”, 2015. — 60 с.
18. Роевко В. В., Пряничников В. А., Кармес А. П., Пряничников А. В., Додонов Е. Д., Храмов С. П. Тушение кабельного коллектора температурно-активированной водой и левитирующей пеной // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : сб. статей. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — С. 353–360.
19. Седнев В. А., Смуров А. В. Методы оценки и обоснования мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 115 с.
20. Kirk K. M., Ridgway M., Logan M. B. Firefighter exposures to airborne contaminants during extinguishment of simulated residential room fires. Research Report 2011-01 of Queensland Fire and Rescue Service Scientific Branch, August 2011. — 100 p. URL: <http://www.firesmoke.org/wp-content/uploads/2014/07/Commonwealth-Fire-Report-Phase-One-August-final.pdf> (дата обращения: 14.12.2015).
21. Guidotti T. L. (ed.). Health risks and fair compensation in the fire service. — Switzerland : Springer International Publishing, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-23069-6.
22. Ищенко А. Д. О некоторых особенностях организации деятельности местных гарнизонов пожарной охраны // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : сб. материалов Международной научно-практической конференции : в 2 ч. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — Ч. 2. — С. 251–252.

Материал поступил в редакцию 1 марта 2016 г.

Для цитирования: Ищенко А. Д. Проблемы обеспечения тушения пожаров на объектах энергетики оперативными подразделениями пожарной охраны // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 26–36. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.26–36.

ASPECTS OF FIRE FIGHTING ENSURING BY OPERATIONAL SUBDIVISIONS AT POWER FACILITIES

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

ABSTRACT

A contingency beginning at power facility can result into emergency mode of operation. Amount of fires at power facilities reduces, while direct damage increases. Overall material loss at power facilities mostly forms by large fires consequences. As well indirect damage caused by induced closedown of power facilities can also have social character expressed in large part of population vital abnormality.

Fire consequences minimization at power facility should be gained by fire fighting timeliness. Along with fire fighting start time minimization continuity of fire fighting from starting fire fighting agent supply up to fire suppression is fundamental. It implies fire fighting forces and equipment concentration in good supply for fire isolation in size it gained by the time fire fighting initiates.

The largest complexity in fire fighting at power facilities is smoke screening of burning and related areas. Limiting factor of fire fighter's residence time in conditions of dangerous fire factors is protective equipment protective power time. It's naturally that it must exceed fire fighting time. Figuring measures of fire fighters at power facilities continued supplying should be conducted as protective power time of protective equipment against dangerous fire factors is less then fire fighting time.

Demonstrative fact is that use of respiratory protection equipment increases against the background of reducing number of fires at power facilities. Ensuring fire fighting at power facilities has feature of necessity for power facilities survival and resulting necessity for personnel work capability in case of fire.

Therefore timeliness of power facilities fire fighting is possible to achieve by improvement of following directions:

- 1) providing visibility improvement and reducing exposure to smoke in fire condition of power facilities;
- 2) fire fighter's life support and operability assurance at power facilities;
- 3) developing protection methods and protective equipment from fire hazards for fire fighters at power facilities;
- 4) advancing fire fighter's operational and physical specifications in providing fire fighting at power facilities.

Keywords: fire; fire fighting; power facility; smoke; low visibility conditions; smoke removal; smoke deposition; tactical aeration.

REFERENCES

1. *Russian energy strategy to year 2030. Russian Federation Government Order on 13.11.2009 No. 1715-r.* Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054 (Accessed 4 July 2015) (in Russian).
2. *It is liquidated the largest power interruption in Moscow.* Available at: <http://www.1tv.ru/news/social/74370> (Accessed 4 September 2015).
3. Matyushin A. V. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2014 godu: statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2014. Statistical book]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015. 124 p.

4. *Atlas riska požarov na teritorii Rossiyskoy Federatsii* [Fire risk atlas on Russian Federation territory]. Moscow, Feoriya Publ., 2011. 640 p.
5. *Itak soydet, ili kak turki GRES v Krasnoyarskom krae postroili* [And so will do, or how the Turks built state district power station in Krasnoyarsk Krai]. Available at: <http://mpsh.ru/7426-i-tak-soydet-ili-kak-turki-gres-v-krasnoyarskom-krae-postroili.html> (Accessed 14 February 2016).
6. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
7. *Bessonnoy nochi v potukhshem Yar-Sale: likvidatsiya avarii na elektrostantsii* [Sleepless night in extinguished Yar-Sale: breakdown elimination at electric power station]. Available at: <http://moyam.ru/novosti/rn/2139.php> (Accessed 14 December 2015).
8. Mikeev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Electric power station fire protection]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 432 p.
9. Seader J. D., Chien W. P. Physical aspects of smoke development in an NBS smoke-density chamber. *Journal of Fire and Flammability*, 1975, vol. 6, pp. 294–310.
10. Ishchenko A. D., Sokovnin A. I. Obespecheniye deyatelnosti podrazdeleniy pozharной okhrany na meste požara [Fire fighting unit activity ensurance at the site of the fire]. *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii: sb. statey* [Firefighting: problems, technologies, innovations. Collection of articles]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014, pp. 196–198.
11. *Guidelines for tactical aeration organization and executing at buildings during firefighting and liquidation of consequences in the territory of Moscow*. Moscow, Chief Directorate of Emercom of Russia for Moscow Publ., 2014. 78 p. (in Russian).
12. Drysdale D. *An introduction to fire dynamics* (2nd ed.). Wiley, University of Edinburg, 1999. 495 p. (Russ. ed.: Drysdale D. *Vvedeniye v dinamiku požarov*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 424 p.).
13. Chizhikov V. P., Kulev D. Kh. *Fiziko-khimicheskiye sposoby borby s zadymlennoy pri požarakh* [Physicochemical ways of struggle against smoke screening in fire condition]. Moscow, Main Informational Center of Ministry of Internal Affairs of USSR Publ., 1989. 56 p.
14. Aleshkov M. V., Emelyanov R. A., Kolbasin A. A., Fedyaev V. D. Primeneniye sploshnykh vodnykh struy pri tushenii elektroustanovok pod napryazheniyem na ob'yektakh atomnoy energetiki [Application of water jets in extinguishing energized electric installations at nuclear power facilities]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 4, pp. 17–23.
15. Kolbasin A. A. *Normirovaniye trebovaniy k sredstvam tusheniya elektrooborudovaniya pod napryazheniyem na ob'yektakh energetiki: dis. kand. tekhn. nauk* [Normalization of requirements for firefighting equipment of electrical equipment on voltage at power facilities. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 152 p.
16. *Tactic of electric sets on voltage firefighting. Recommendations*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1986. 16 p. (in Russian).
17. *TI 1.1.8.01.1017–2015. Typical instructions on firefighting of electric sets on voltage to 10 kV*. Moscow, “Rosenergoatom” Concern OSC Publ., 2015. 60 p. (in Russian).
18. Roenko V. V., Pryanichnikov V. A., Karmes A. P., Pryanichnikov A. V., Dodonov E. D., Khramtsov S. P. Tusheniye kabelnogo kollektora temperaturno-aktivirovannoy vodoy i levitiruyushchey penoy [Cable tube fire fighting with temperature activated water levitating foam]. *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii: sb. statey* [Firefighting: problems, technologies, innovations. Collection of articles]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012, pp. 353–360.
19. Sednev V. A., Smurov A. V. *Metody otsenki i obosnovaniya meropriyatiy po obespecheniyu elektroenergeticheskoy bezopasnosti sub'yektov Rossiyskoy Federatsii v usloviyakh chrezvychaynykh situatsiy: monografiya* [Valuation and establishing methods of safety measures in subjects of Russian Federation in emergency conditions. Monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014. 115 p.
20. Kirk K. M., Ridgway M., Logan M. B. Firefighter exposures to airborne contaminants during extinguishment of simulated residential room fires. *Research Report 2011–01 of Queensland Fire and Rescue Service Scientific Branch*, August 2011. Available at: <http://www.firesmoke.org/wp-content/uploads/2014/07/Commonwealth-Fire-Report-Phase-One-August-final.pdf> (Accessed 14 December 2015).
21. Guidotti T. L. (ed.). *Health risks and fair compensation in the fire service*. Switzerland, Springer International Publishing, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-23069-6.

22. Ishchenko A. D. O nekotorykh osobennostyakh organizatsii deyatelnosti mestnykh garnizonov pozhar-noy okhrany [About some features of local fire fighting garrisons activity arranging]. *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii: sb. materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Firefighting: problems, technologies, innovations. Proceedings of International Research and Practice Conferences]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014. Part 2, pp. 251–252.

For citation: Ishchenko A. D. Problemy obespecheniya tusheniya pozharov na obyektakh energetiki operativnymi podrazdeleniyami pozharной okhrany [Aspects of fire fighting ensuring by operational subdivisions at power facilities]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 26–36. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.26-36.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

Д. А. САМОШИН, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: inbox-d@mail.ru)

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26); профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: reglament2004@mail.ru)

УДК 614.842.65.001.24(043.7)

ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ

Анализируются проблемы, связанные с изучением времени начала эвакуации людей в нашей стране и за рубежом. Рассмотрена история нормирования этой величины в различных нормативных документах; отмечено, что сегодня имеет место недостаточность отображения этой величины в практике нормирования. В качестве основных проблем нормирования отмечается ошибочность правоприменительной практики трактования времени начала эвакуации как времени ожидания начала эвакуации. Указывается, что тип системы оповещения влияет на время начала эвакуации противоположным образом, чем принято считать в настоящее время, т. е. чем выше тип СОУЭ, тем больше время начала эвакуации. Излагаются научно-методические принципы и методы исследований, основанные на концепции психофизической обусловленности вероятности поведения людей на этапе формирования времени начала эвакуации, которые были выполнены в последние годы в Учебно-научном центре проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России. Приводятся новые результаты активных исследований данного этапа эвакуации в нашей стране.

Ключевые слова: время начала эвакуации; тип системы оповещения; проблемы нормирования; нормативные требования; закон распределения.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51

1. История нормирования времени начала эвакуации

Понятие “время начала эвакуации $t_{н.э}$ ” впервые было введено в нормативную практику России ГОСТ 12.1.004–91* (п. 2.4): “ $t_{н.э}$ — интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин”.

Введением параметра $t_{н.э}$ этот ГОСТ лишь обозначил существование проблемы, связанной с необходимостью учета времени начала эвакуации, но не дал ее решения. Это видно из записанного в п. 2.5 положения: “Значение времени начала эвакуации $t_{н.э}$ для зданий (сооружений) без систем оповещения вычисляются по результатам исследования поведения людей при пожарах конкретного назначения. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину $t_{н.э}$ следует принимать равной 0,5 мин — для этажа пожара и 2 мин — для вышележащих этажей. Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен всеми находящимися в нем людьми, то $t_{н.э}$ допускается принимать равным нулю”.

К исследованиям времени начала эвакуации обратились только после того, как впервые было проведено анкетирование людей, переживших пожар в зданиях (в основном жилых), в Великобритании [1]. В дальнейшем подобные опросы стали эпизодически проводиться и в других странах [2–4]. Из обобщения результатов анкетных опросов известно, что люди, находясь вне помещения очага пожара и узнав тем или иным образом о пожаре, ведут себя следующим образом:

- 33 % из опрошенных людей начинают обследовать помещение;
- 10 % готовятся покинуть помещение;
- 20 % стремятся предупредить о пожаре других людей;
- 10 % выясняют, вызвана ли пожарная команда;
- 6 % пытаются сами вызвать пожарную команду;
- 13 % пытаются сами потушить пожар;
- 8 % ничего не предпринимают, наблюдая, что делают другие.

В то же время статистические данные натурных наблюдений за возможным поведением людей в этих условиях отсутствовали. А результаты опросов могли использоваться лишь для оценки психологического

состояния людей в начале их эвакуации при пожаре в зданиях “без систем оповещения” с его крайними проявлениями. В качестве таких проявлений обычно рассматривались “обследование помещения” и бег. Обследование помещения расценивалось многими сторонними наблюдателями (журналистами) как неадекватная ситуация, а бег — как проявление паники. Оценка же, впервые проведенная [5, 6] на основании методологии статистических решений в психофизике [7], показала, что наблюдаемое в таких ситуациях поведение людей соответствует критериям “разумного риска”. Такая оценка теоретически обосновывает мнение ведущих зарубежных [8, 9] и отечественных [10] исследователей об отсутствии стресса в психическом состоянии людей при обнаружении ими косвенных признаков пожара и о том, что “бегство из горящего здания — естественное поведение людей, соответствующее возникшим условиям” [9] и что “основная масса эвакуирующихся состоит из вовлеченных в общий бег людей, способных к здоровой оценке ситуации и разумным действиям” [10]. В связи с этим при установлении расчетных значений параметров людских потоков при эвакуации была принята [5] случайная величина скорости движения при повышенном эмоциональном состоянии, а не при стрессе, которая и вошла с 1980 г. в СНиП II-2-80 [11], а затем и во все последующие нормативные документы, касающиеся эвакуации людей во время пожара.

В свете изложенного введение даже такого ограниченного набора значений $t_{н.э}$ в ГОСТ 12.1.004-91*, несомненно, являлось шагом вперед, так как до того эти затраты времени, обусловленные вариабельностью поведения людей при обнаружении пожара, полностью игнорировались и никакие исследования в этом направлении до 80-х годов прошлого столетия [12] не велись.

Исходя из доступных данных зарубежной, в том числе [13], и отечественной печати, в ходе подготовки МГСН 4.19-2005 [14] была разработана таблица случайных величин $t_{н.э}$ (табл. 1) для помещений различного функционального назначения [15], наличие которых возможно в высотных зданиях.

В рамках этого документа время начала эвакуации $t_{н.э}$ рассматривалось как случайная величина, распределенная по нормальному закону с описывающими его числовыми характеристиками — математическим ожиданием $m(t_{н.э})$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma(t_{н.э})$.

Поскольку интервал изменений возможных значений случайной величины $t_{н.э}$ равен $m(t_{н.э}) \pm 3\sigma(t_{н.э})$, то очевидно, что нормируемый в табл. 1 интервал времени начала эвакуации предусматривает определенный период (отрезок) времени до начала эвакуации первого человека: $\Delta t = m(t_{н.э}) - 3\sigma(t_{н.э})$, что наглядно представлено на рис. 1. Отрезок времени Δt (мин) — это продолжительность процесса оповещения и приема человеком сообщения о возникновении пожара.

Значение Δt зависит от типа СОУЭ, которым оборудовано помещение, и психофизиологического состояния находящихся в нем людей. Например, при оборудовании здания СОУЭ типа V или IV (см. рис. 1) время начала эвакуации из помещения последнего человека составит: $t_{н.э} = \Delta t + 6\sigma(t_{н.э}) = 0,5 + 6 \cdot 0,5 = 3,5$ мин. При этом первый человек начнет эвакуироваться из помещения через 0,5 мин после оповещения, в следующие 0,5 мин начнут эвакуацию уже 2 % людей, находящихся в помещении, в следующие 0,5 мин — еще 14 %. И далее, в каждые последующие 0,5 мин начинают эвакуироваться, соответственно, 34; 34; 14 и 2 % людей, находящихся в помещении.

Таблица 1. Числовые характеристики случайной величины времени начала эвакуации при СОУЭ различных типов

Функциональный тип помещений и характеристика населения	СОУЭ типа					
	IV, V		II, III		I	
	$m(t_{н.э})$, мин	$\sigma(t_{н.э})$, мин	$m(t_{н.э})$, мин	$\sigma(t_{н.э})$, мин	$m(t_{н.э})$, мин	$\sigma(t_{н.э})$, мин
Жилые квартиры (апартаменты) для длительного проживания. Жильцы могут находиться в состоянии сна, но знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	5,0	0,5
Номера гостиниц. Жильцы могут находиться в состоянии сна и недостаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	6,0	0,5
Магазины, выставки, досуговые центры и другие помещения массового посещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы с планировкой здания и структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	2,0	0,5	6,0	0,5
Административные, торговые и другие помещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	1,0	0,3	3,0	0,5	4,0	0,3

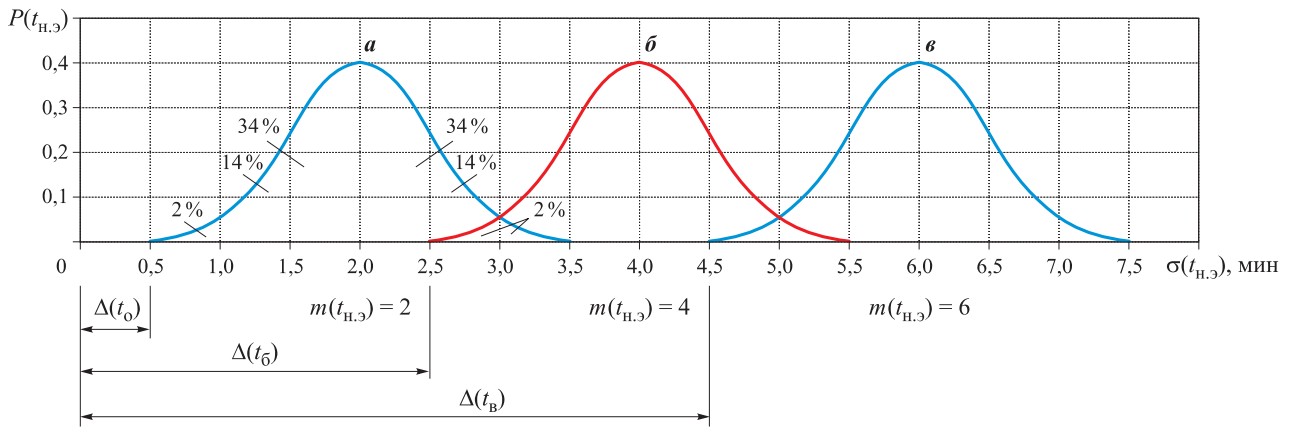


Рис. 1. Плотность распределения вероятности времени начала эвакуации $P(t_{н.э.})$ при оборудовании здания СОУЭ типов: а — V, IV; б — III, II; в — I; в % указана доля людей от общего количества людей N , начинающих эвакуироваться в соответствующий интервал времени

Здесь очень важно отметить, что с ростом номера типа СОУЭ соответственно изменяются и значения $t_{н.э.}$. Однако при этом повышается сложность и самой системы, что увеличивает время ее инерционности, поэтому фактически значение $t_{н.э.}$ изменяется обратно пропорционально номеру типа СОУЭ: чем выше его тип, тем больше будет $t_{н.э.}$.

После истечения срока действия МГСН 4.19–2005 данная методология нормирования времени начала эвакуации была заимствована стандартами организаций, проектирующих многоэтажные и высотные здания [16–18].

Концепция этой методологии использована и в Методике определения расчетных величин индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [19, табл. П5.1]. Поскольку при определении индивидуального пожарного риска значение $t_{н.э.}$ должно определяться по времени начала эвакуации последнего человека, находящегося в помещении, то в этой методике для упрощения принято равномерное распределение вероятности времени начала эвакуации людей на протяжении всего этого этапа, исходя из условия: $\max t_{н.э.} \geq \Delta t + 6\sigma(t_{н.э.})$, для зданий всех классов функциональной пожарной опасности. Отсюда следует, что количество людей $n(t_{н.э.})$ (чел./мин), начинающих эвакуироваться в единицу времени начала эвакуации, определяется по общей формуле

$$n(t_{н.э.}) = N / [\Delta t + 6\sigma(t_{н.э.})]. \quad (1)$$

Как показывает практика, важно подчеркнуть, что в течение времени начала эвакуации люди начинают эвакуироваться в каждый его временной промежуток, а не ожидают, пока все находящиеся в помещении люди N (чел.) “соберутся” и затем в момент $t_{н.э.}$ одновременно начнут эвакуацию. Такая интерпретация поведения людей в “интервале времени от возникновения пожара до начала эвакуации” явля-

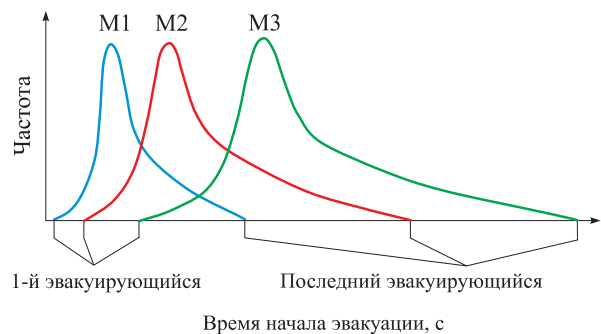


Рис. 2. Влияние уровня противопожарного менеджмента на время начала эвакуации людей по данным [21]

ется принципиальной методической ошибкой, которая допускается многими пользователями Методики [19], но, к сожалению, не раскрывается в пособии по использованию последней [20].

Одновременное начало эвакуации всех людей совершенно не соответствует динамике процесса начала движения взрослых людей, наблюдаемой при проведении в нашей стране и за рубежом [21] обследований реальных объектов при различном уровне его организации (рис. 2).

Такая интерпретация динамики процесса начала эвакуации людей ведет к искажению фактической картины последующего движения людских потоков, поскольку распределение значений времени начала эвакуации оказывает решающее влияние на формирование параметров движения людских потоков по эвакуационным путям и, соответственно, на определение значений времени эвакуации $t_{эв}$ (рис. 3).

Результаты моделирования, представленные на рис. 3, показывают, что одновременное начало эвакуации всех людей ведет к прогнозированию места образования скопления совершенно в другом месте, что может повлечь за собой избыточные затраты в ходе строительства, не имеющие никакого практического смысла.

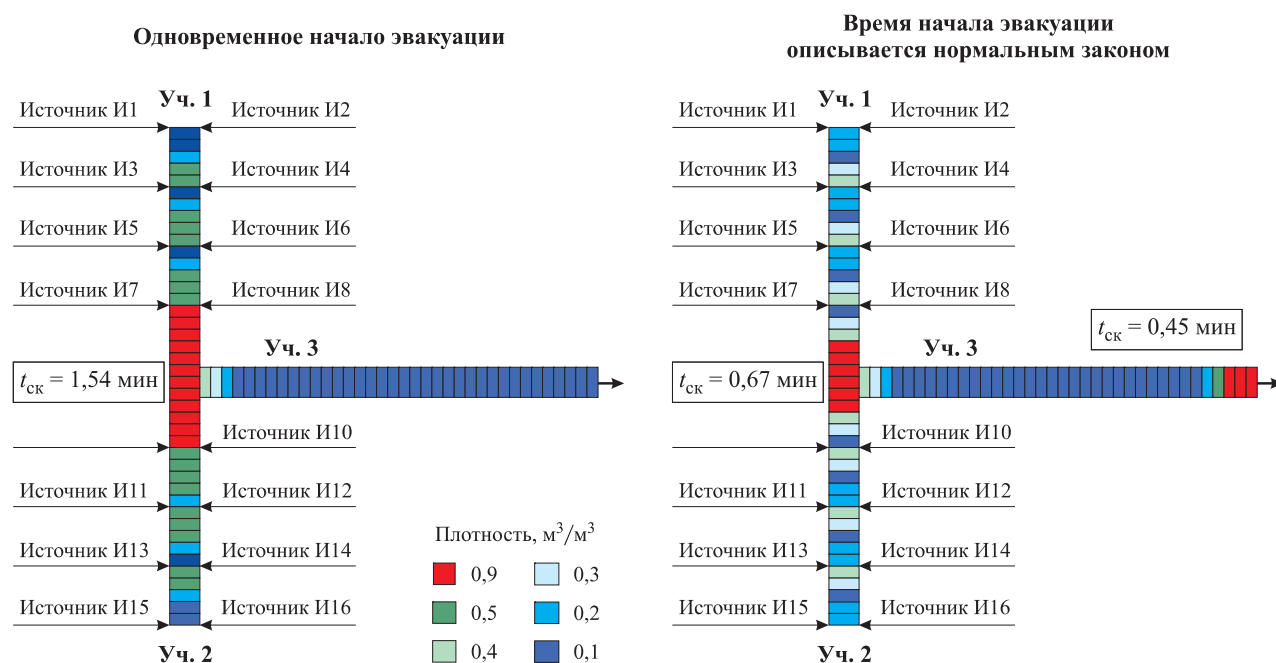


Рис. 3. Зависимость максимальных значений плотности людских потоков и расчетного времени эвакуации на участках пути от описания поведения людей в течение времени начала эвакуации: уч. 1 и уч. 2: $l = 25$ м, $b = 2,5$ м; уч. 3: $l = 31$ м, $b = 2,5$ м, $b_0 = 1,8$ м; И1–И16: $N = 30$ чел., $l = 16$ м, $b = 2$ м

2. Анализ результатов исследований и приемов нормирования времени начала эвакуации в международной практике

Ввиду сложности организации экспериментов и многофакторности параметров, определяющих продолжительность и характеристики процесса начала эвакуации, этот этап является одним из наименее исследованных как в нашей стране, так и за рубежом. Результаты обобщения отдельных опубликованных зарубежных данных [22] приведены на рис. 4.

Анализируя зарубежный опыт, следует отметить, что в Британском стандарте [13], а вслед за ним и в техническом отчете ISO ISO/TR 16738 [21] приводятся, по меньшей мере, 15 факторов, влияющих на время начала эвакуации. Среди них и характеристики здания, например В1 (небольшой магазин) – В3 (крупный транспортный терминал); и системы оповещения — А1 (автоматическое оповещение всего здания) – А3 (зонное оповещение с ручным включением); и уровень противопожарного менеджмента — М1 (высокая культура безопасности) – М3 (выполнение минимальных требований пожарной безопасности). Однако ни один из этих факторов не ранжирован, и их влияние на время начала эвакуации количественно не описано. Даже влияние такого фактора, как уровень организации (менеджмента), отображается лишь в смещении распределения плотности вероятности времени начала эвакуации, представленного в довольно общем виде (см. рис. 2).

Авторы — составители этого отчета постоянно указывают на то, что:

- данные, приведенные в достаточно многочисленных публикациях, имеют в основном качественный характер;
- данные распределения периода времени начала эвакуации для различных поведенческих сценариев в настоящее время очень ограничены;

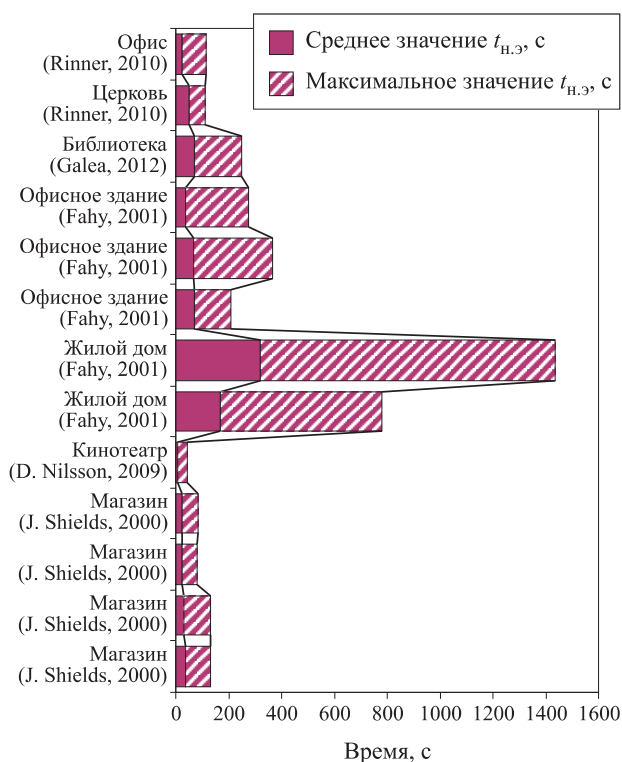


Рис. 4. Обобщение результатов исследований времени начала эвакуации, проведенных зарубежными авторами

- время реагирования на сигнал “эвакуация” и время подготовки к эвакуации зависят от состава людей в здании и от менеджмента;
- менеджмент, в свою очередь, может зависеть от “культурологических” особенностей населения (точнее сказать менталитета).

Авторы [21] делают вывод, что “разработчики моделей эвакуации и пользователи должны иметь развивающуюся информационную базу данных”. По-видимому, именно этим объясняется то, что они не проводят математического многофакторного анализа, необходимость которого представляется очевидной при таком обилии предполагаемых влияющих факторов. Однако они не указывают на необходимость планирования экспериментов в целях выявления основных факторов и оценки их взаимовлияния.

При этом вызывает недоумение допущенная составителями отчета некорректность распределений плотности вероятности случайных величин $t_{н.э}$ для различных уровней менеджмента (М1, М2, М3), представленных на рис. 2, поскольку при увеличении демонстрируемого ими разброса значений $t_{н.э}$ должно соответственно уменьшаться максимальное значение плотности вероятности для сохранения равенства площадей под кривой распределения (см. рис. 1).

Следует обратить внимание на принципиальное различие в назначении “начальной” точки отсчета времени начала эвакуации в сопоставляемых отечественных и зарубежных документах. И в ГОСТ 12.1.004–91*, и в Методике [19] отсчет интервала времени $t_{н.э}$ начинается с момента возникновения пожара, а в Британском стандарте и ISO/TR 16738 — с момента оповещения людей о пожаре. Таким образом, ситуации, когда системы оповещения не срабатывают (не функционируют по тем или иным причинам) или здания ими не оборудованы, что изначально предусматривается соответствующей формулировкой ГОСТ 12.1.004–91* (“без систем оповещения”), в зарубежных документах не рассматриваются, поскольку они “не могут быть определены”.

3. Развитие исследований времени начала эвакуации в Российской Федерации на основе методики натурных наблюдений

С введением строительными нормами и правилами по противопожарному проектированию [23], а затем и техническим регламентом [24] классификации зданий по функциональной пожарной опасности “с учетом возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна, вида основного функционального контингента” [23, 24] требуется учитывать влияние этих факторов при установлении вида и числовых характеристик случайной величины времени начала эвакуации в зда-

ниях различного назначения. Малое количество эмпирических данных по поведению людей в период времени начала эвакуации в нашей стране, отсутствие полноценного многофакторного анализа данных зарубежных исследователей и невозможность их систематизации применительно к введенной классификации зданий по функциональной пожарной опасности позволяют характеризовать данные табл. П.5.1 Методики [19], скорее всего, как гипотетические, чем как практически достоверные. Это относится прежде всего к зданиям класса Ф1 с характерным для них разнообразным составом основного функционального контингента, некоторые виды которого никогда не исследовались не только в нашей стране, но и за рубежом.

Поэтому неудивительно, что приказ МЧС России от 12.12.2011 г. № 749 исключил из области расчетной оценки пожарных рисков здания классов Ф1.1 (здания детских дошкольных учреждений, домов для престарелых и инвалидов, больницы, здания спальных корпусов школ-интернатов и детских учреждений), Ф1.3 (многоквартирные жилые дома), Ф1.4 (одноквартирные, в том числе блокированные, жилые дома). Это сделало невозможным для групп зданий, соответствующих этим классам, проведение оценки их соответствия требованиям пожарной безопасности на основе пожарного риска. Такая ситуация продолжалась до появления приказа МЧС № 632 [25].

Отсутствие в нашей стране необходимых данных и столь решительная корректировка Методики [19] предопределили актуализацию проведения систематических экспериментальных исследований поведения людей в процессе их подготовки к началу эвакуации при случайной величине $t_{н.э}$, которые и были начаты сотрудниками кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России [26].

Поскольку оценка поведения людей в зданиях “без систем оповещения” была уже проведена ранее, то объектами изучения в [27–30] стали объекты, оборудованные СОУЭ, но не исследовавшиеся ранее ни в нашей стране, ни за рубежом. Эти обследования включают натурные наблюдения, проводимые по единой методологии, которая постоянно совершенствовалась на протяжении десятилетий, что было связано как с появлением новых средств и, соответственно, методов фиксации эмпирических данных, методов их статистической обработки [31], так и с выявлением их влияния на законы распределения фиксируемых эмпирических данных [32].

В настоящее время она включает ряд последовательных этапов:

- организацию и проведение натурных наблюдений происходящего процесса, ход которого фиксируется на цифровые видеокамеры;
- дешифровку полученных видеоматериалов с целью определения значений исследуемых параметров;
- статистическую обработку полученных эмпирических данных;
- статистический анализ полученных результатов;
- поиск теоретического объяснения выявленных эмпирических зависимостей.

Наглядное представление о методе видеофиксации наблюдаемого процесса эвакуации дает пример ее применения в зданиях детских садов для фиксации действий воспитателей и детей при подготовке к эвакуации и последующего движения их по участкам эвакуационных путей (рис. 5) [28].

К настоящему времени выполнено несколько десятков серий натурных наблюдений поведения людей в период до начала эвакуации в зданиях различного функционального назначения. Они дали достаточно большой объем эмпирических данных,

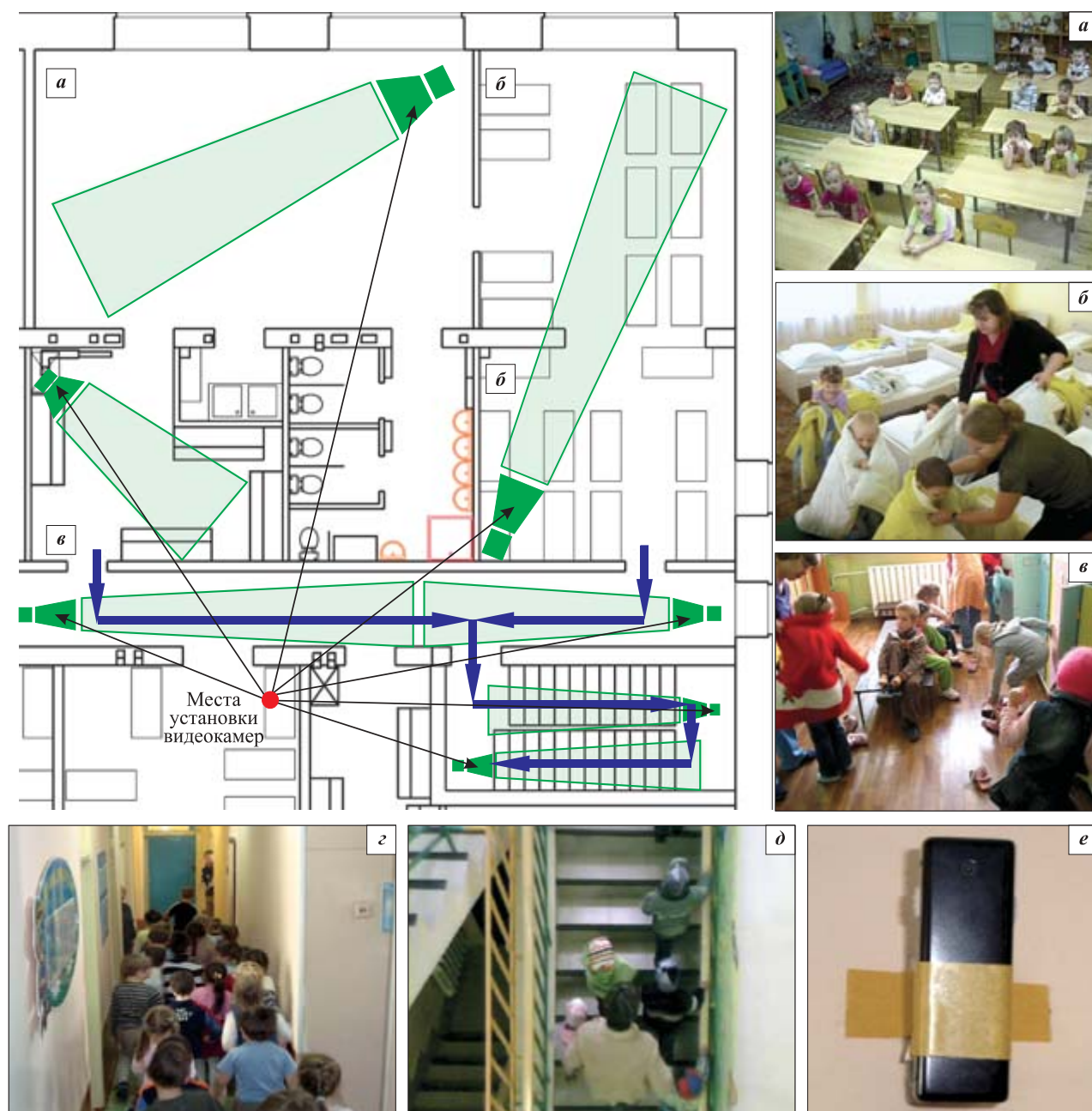


Рис. 5. Общая схема расстановки видеокамер в помещениях, на этаже и в лестничной клетке: *а* — реагирование детей на сигнал воспитателя о необходимости покинуть помещение; *б* — укутывание детей в спальные одеяла; *в* — одевание детей в зимнюю одежду; *з* — движение по горизонтальному пути; *д* — то же, по лестнице вверх; *е* — вид прикрепленного к конструкции видео-регистратора

который продолжает пополняться, что создает условия для формирования общей статистической базы данных. Однако более глубокая цель этих исследований состоит в статистически обоснованной дифференциации общей базы данных и в поисках психофизических механизмов формирования того или иного вида наблюдаемых распределений времени подготовки людей к началу эвакуации.

Этими исследованиями установлены характерные для всех видов обследованных зданий временные этапы формирования времени начала эвакуации людей, последовательность которых может быть описана общей формулой:

$$t_{н.э} = (t_{об} + t_{оп}) + t_o + t_{под}, \quad (2)$$

где $t_{об}$ — время обнаружения очага горения;

$t_{оп}$ — время оповещения, объявления тревоги;

t_o — интервал времени, необходимый человеку для осознания информации и оценки сложившейся ситуации;

$t_{под}$ — время на подготовку к эвакуации или к защите помещения от воздействия ОФП.

Здесь $(t_{об} + t_{оп})$ — техническая составляющая формирования времени начала эвакуации, зависящая от наличия СОУЭ, надежности, инерционности и эффективности функционирования ее различных типов.

Следующий этап поведения, затраты времени на который оцениваются величиной t_o , является специфическим для человека. В это время происходит перестройка эмоционального состояния человека от комфортно-спокойного, в котором он находится в процессе повседневной деятельности, к активному или повышенной активности [5, 33]. При этом человек сомневается в том, что действительно произошло такое редкое событие, как пожар, тем более когда он не видит явных признаков пожара, а только слышит сигнал СОУЭ, ведь возможна ложная тревога. Стремление человека перепроверить достоверность сигнала СОУЭ тем выше, чем больше его уверенность в пожарной безопасности здания, в котором он находится, и чем больше его ответственность за последствия ложной тревоги (финансовые, моральные потери, нецелесообразные усилия и т. п.). Такой аспект поведения неоднократно фиксировался при натурных наблюдениях на реальных объектах. Так, например, если персонал крупных торговых комплексов, непосредственно общающийся с покупателями, получив сигнал СОУЭ, выполняет инструкции, то среднее время начала организации эвакуации может составлять всего 17 с [34]. Однако, как показывают натурные наблюдения, более 60 % персонала, вместо того чтобы сразу же приступить к организации эвакуации покупателей, сначала связывается с вышестоящими менеджерами. Покупатели также, услышав сигнал СОУЭ, но не видя явных признаков

пожара, начинают активно эвакуироваться только после получения дополнительных указаний от персонала. Такую модель поведения подтвердил видеоанализ результатов эвакуации [34] 2644 покупателей в торговых комплексах: услышав сигналы СОУЭ, покупатели в подавляющем большинстве случаев не предпринимали попыток покинуть здание до тех пор, пока им не указали на это служащие.

Эти факты указывают на то, что и при наличии систем оповещения и управления эвакуацией в психологии людей сохраняется стремление принять личное решение на основании минимизации риска ложной тревоги [7]. При проведении натурных наблюдений в зданиях детских дошкольных учреждений (детских садов) также отмечаются факты подобного поведения людей, ответственных за организацию тренировочной эвакуации детей. Получив сигнал от системы оповещения и управления эвакуацией, которой оборудуются эти виды зданий, воспитатели, прежде чем дать команду детям срочно одеваться для последующего выхода, в большинстве случаев выглядывают в коридор, для того чтобы воочию ознакомиться со сложившейся обстановкой на ближайших подступах к выходу из групповой ячейки [28]. Приведенные факты говорят о том, что на этом этапе подготовки к началу эвакуации целесообразно оборудовать здания СОУЭ в комплексе с системами видеонаблюдения и голосовой связи центра управления эвакуацией и помещениями, в которых рассредоточен основной функциональный контингент. Это предусмотрено, например, в [17]. Этот комплекс систем можно назвать системой оперативного управления эвакуацией.

Для проверки эффективности оперативного управления подготовкой к началу эвакуации был проведен ряд экспериментов в учебных аудиториях Академии ГПС МЧС РФ, при которых руководство подготовкой слушателей к эвакуации осуществлялось преподавателем. Результаты этих экспериментов по данным [27] приведены на рис. 6.

Как видно из рис. 6, слушатели находятся в постоянной готовности к эвакуации после окончания очередной “пары” занятий. Гистограммы распределения вероятности времени начала эвакуации слушателей при трех типах команд преподавателя показывают явное уменьшение не только времени t_o , но и изменение дисперсии и математического ожидания величины $t_{под}$ при усугублении строгости управляющих команд как одного из видов менеджмента.

Следующий этап поведения людей — подготовка людей к эвакуации $t_{под}$ заканчивающаяся началом их движения в направлении к эвакуационным выходам из помещения. Для этого этапа решающее значение имеет способность людей к эвакуации,

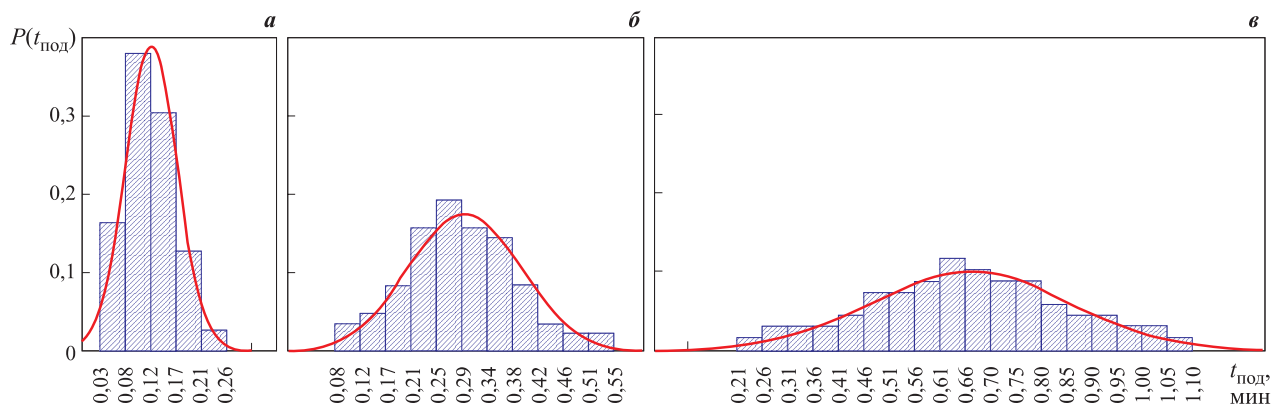


Рис. 6. Гистограммы плотности вероятности случайной величины времени подготовки студентов к эвакуации из помещений ($t_{\text{под}} = t_{\text{дв}}$) на примере зданий функциональной пожарной опасности класса Ф4.2 при различных командах преподавателя: а — “вставайте и быстро выходите, вещи оставить”, $f(t_{\text{под}}) = \frac{1}{0,04\sqrt{2\pi}} e^{-(t_{\text{под}}-0,12)^2/(2 \cdot 0,04^2)}$; б — “собирайте вещи и, не задерживаясь, выходите”, $f(t_{\text{под}}) = \frac{1}{0,09\sqrt{2\pi}} e^{-(t_{\text{под}}-0,29)^2/(2 \cdot 0,09^2)}$; в — “конец занятий”, $f(t_{\text{под}}) = \frac{1}{0,19\sqrt{2\pi}} e^{-(t_{\text{под}}-0,66)^2/(2 \cdot 0,19^2)}$

определяемая их физическим или психофизиологическим состоянием: имеется ли физическая возможность у людей эвакуироваться самостоятельно, или для этого требуется помощь других людей, или им необходимо постоянное постороннее руководство их поведением. К последней из выделенных категорий контингента людей относятся дети дошкольного возраста, для которых ни в одной стране мира не установлено не только время начала эвакуации, но и параметры движения образуемых ими потоков при одновременном нахождении большого числа детей в помещениях, например, детских садов. Именно поэтому детские сады, относящиеся к классу функциональной пожарной опасности зданий Ф1.1, стали одним из первых объектов натурных наблюдений.

Как показали натурные наблюдения, продолжительность этапа, описываемая затратами времени ($t_0 + t_{\text{под}}$), складывается из времени реагирования воспитателей t_0 на сигнал СОУЭ и времени, затрачиваемого на одевание детей и их сбор в одном месте групповой ячейки $t_{\text{под}}$. Только собрав всех одетых детей вместе, воспитатели начинали их выводить из помещения.

Гистограмма распределения времени реагирования воспитателей на сигнал СОУЭ приведена на рис. 7. Большой разброс значений времени реагирования воспитателей объясняется не только различием их индивидуальных психофизиологических качеств, но и тем, что многие из них, услышав сигнал системы оповещения, как отмечено выше, сначала пытаются выяснить обстоятельства происходящего события, вызвавшего подачу сигнала. Поскольку пока не просматривается перспектив оборудования зданий этого класса функциональной пожарной опасности системами оперативного управления эвакуа-

цией, в качестве расчетного значения t_0 придется принимать пессимистическое значение, составляющее не менее 1 мин.

Анализ результатов наблюдений времени начала эвакуации детей из помещений зданий дошкольных образовательных учреждений (ДОУ) показал весьма большие затраты времени $t_{\text{под}}$ на формирование группы, готовой к эвакуации в весенний, осенний и особенно в зимний период, когда значение $t_{\text{под}}$ может достигать 7,5 мин. Это связано прежде всего с длительностью переодевания детей из домашней в одежду для улицы (из-за опасения переохлаждения их организма). Естественно, что продолжительность этого этапа подготовки группы детей к эвакуации напрямую связана с количеством воспитателей (обычно 2 чел.). Сокращения затрат времени на этот этап можно достичь, заменив переодевание детей укутыванием их в одеяла [28]. Тогда значение $t_{\text{под}}$ мо-

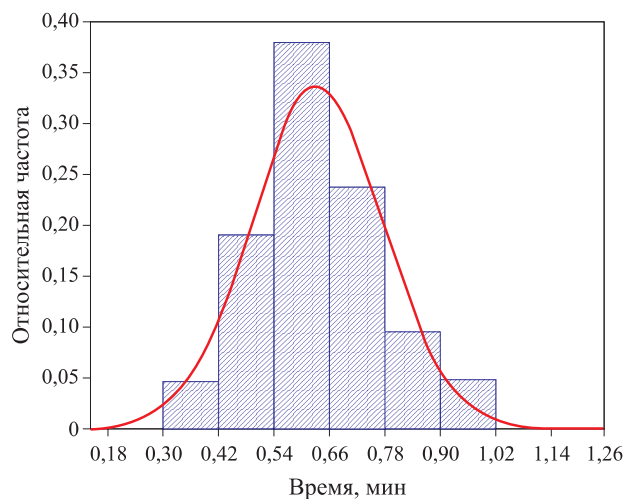


Рис. 7. Эмпирические распределения плотности вероятности времени реагирования воспитателей на сигнал СОУЭ

жет быть принято равным 1 мин, что приближает его к значению времени формирования группы в летний период, составляющему 0,5 мин.

Натурные наблюдения, проведенные в зданиях ДОО, показывают, что время начала эвакуации детей следует определять по их выходу из помещения групповой ячейки, так как, начав двигаться к выходам, дети, как правило, останавливаются и ожидают дополнительных указаний от персонала, поэтому собственное движение к эвакуационным выходам из здания начинается за пределами помещения.

Проведенными исследованиями установлена необходимость для этого класса зданий описывать время начала эвакуации равномерным законом распределения вероятности времени $t_{\text{под}}$. Подобная ситуация складывается и в многодетных семьях в жилых зданиях (Ф1.3, Ф1.4).

Однако для сложных семей необходимо учитывать, что в их составе могут быть пожилые люди — инвалиды, не всегда физически способные к самостоятельной эвакуации. Тем не менее ни один из существующих нормативных документов, содержащих требования обеспечения доступности зданий и сооружений для маломобильных групп населения, используя данные [35, 36], не учитывают их возрастного состава. Этот существенный недостаток объясняется простой причиной: к моменту создания этих документов удалось провести только первые натурные наблюдения потоков, состоящих из маломобильных людей [37–39]. На протяжении же последующих двух десятков лет ни одна из организаций не провела ни одного исследования, необходимого для пополнения первоначальных статистических данных. Поэтому естественно, что при организации комплекса исследований, начатых кафедрой пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, здания с массовым пребыванием людей пожилого возраста и инвалидов (класса Ф1.1) стали объектами первоочередного внимания.

Эти исследования показали необходимость качественно иной по сравнению с существующей в нормативных документах классификации маломобильных людей, учитывающей физические возможности

престарелых людей для осуществления самостоятельной эвакуации (рис. 8).

Приведенная на рис. 8 схема показывает, что максимальное значение времени эвакуации будет определяться возможностями операций по перемещению персоналом людей, неспособных к самостоятельной эвакуации. Следовательно, его значение зависит от количества персонала и физических возможностей его состава, обоснованные расчетные показатели которых до последних лет отсутствовали. Их удалось впервые установить [30, 40] на основании понимания того, что для описания взаимосвязи между параметрами действия спасателей различного пола может быть использован психофизический закон [41].

Следует отметить, что составители отчета [21] Международной организации ISO не уделяют никакого внимания необходимости учета влияния присутствия пожилых людей и инвалидов в составе групп эвакуирующихся людей. Между тем, как показывают данные Международного бюро по исследованию населения (Population Reference Bureau) за 2011 г., процент людей старше 65 лет во всех странах мира возрастает. По прогнозам Всемирной организации здравоохранения к 2050 г. численность людей старше 60 лет в мире увеличится более чем в 2 раза, превысив 2 млрд. чел., а старше 85 лет достигнет рекордных 400 млн. чел. Очевидно, что среди них окажется большое количество инвалидов по старости. Мобильные возможности таких людей будут распределены аналогично схеме, приведенной на рис. 8. Большинство из них будут проживать, по-видимому, в жилых зданиях самостоятельно или в составе сложных семей, время начала эвакуации которых определяется готовностью всех членов семьи, поэтому значения $t_{\text{под}}$ следует принимать распределенными по равномерному закону, корректируя их с учетом физических возможностей пожилых людей.

Однако для жилых зданий, в которых возможно круглосуточное пребывание людей, как и в домах для престарелых и инвалидов и в зданиях стационаров больниц, наиболее напряженным периодом для расчета индивидуального пожарного риска является

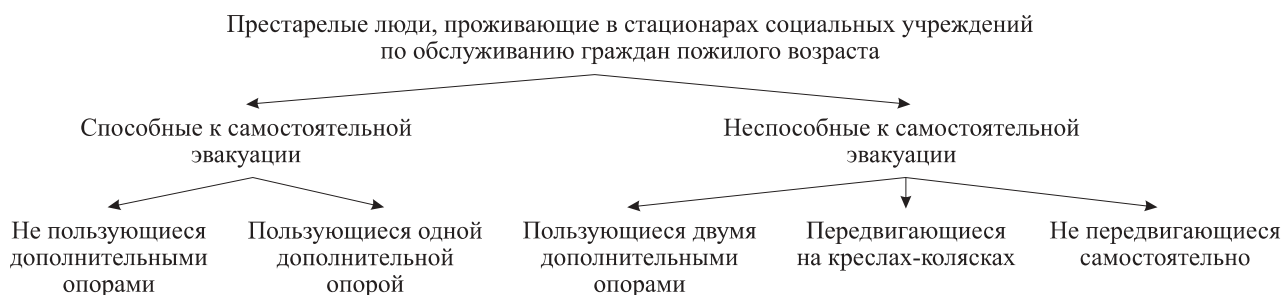


Рис. 8. Классификация по мобильным качествам людей, находящихся в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста

ся ночное время, когда люди находятся в состоянии сна. Именно для таких зданий, в которых люди могут находиться в состоянии ночного сна, корректно положение Методики [19]: “ $P_{пр}$ — вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения $P_{пр} = t_{функц} / 24$, где $t_{функц}$ — время нахождения людей в здании в часах”. Распространение этого положения представителями инспектирующих органов на другие классы зданий, которые могут функционировать круглосуточно (например, на здания крупных торговых комплексов), функционально неосостоятельно, так же как и возможное использование юридического казуса (случая) его неудачной формулировки в нормативном документе применительно к другим видам зданий, например к промышленным предприятиям, работающим в три смены, или к круглосуточно функционирующим городским туалетам. Эти здания функционируют круглосуточно, но возможность индивидуального круглосуточного пребывания в них человека исключается биоритмом его жизнедеятельности. Продолжительность его пребывания в таких зданиях должна определяться технологическими нормами их проектирования и общими санитарно-гигиеническими нормами.

Заключение

Исследования поведения людей в процессе формирования времени начала эвакуации показывают, что кардинальным принципом обеспечения безопасности эвакуации людей при пожаре является “ограничение образования и распространения опасных факторов пожара в пределах очага пожара” [42, ст. 8]. Ст. 61 Технического регламента о пожарной безопасности [24] указывает, что “автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать... ликвидацию пожара в помещении до возникновения критических значений опасных факторов пожара”. Однако для этого необходима разработка инновационной автоматической системы пожаротушения с принудительным пуском, обеспечивающим время инерционности 3–7 с, в сочетании с контролируемой производительностью клапана системы удаления дыма, изменяющейся в соответствии с площадью развившегося пожара [29].

При отсутствии такой системы или при отказе автоматизированных систем противопожарной защиты [19] резерв времени [43] для обеспечения безопасной эвакуации заключается в сокращении времени ее начала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wood P. G. The behaviour of people in fires // Fire Research Note No. 953. — November 1972. — 113 p.
2. Breaux J., Canter D., Sime J. Psychological aspects of behaviour of people in fire situations // 5th International Fire Protection Seminar. — Karlsruhe, 22–24 September, 1976. — Vol. 2. — P. 22–24.
3. Marchant E. W. Some aspects of human behavior and escape route design // 5th International Fire Protection Seminar. — Karlsruhe, 22–24 September, 1976.
4. Bryan J. L. Smoke as a determinant of human behavior in fire situations. — Washington : Centre for Fire Research, National Bureau of Standards, 1977. — 304 p.
5. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983. — 442 с.
6. Холицевников В. В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре : монография. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 93 с.
7. Леонов Ю. П. Теория статистических решений и психофизика : монография. — М. : Наука, 1977. — 223 с.
8. Quarantelli E. L. Panic behavior: some empirical observations. — Disaster Research Center, Ohio State University, July 1975.
9. Ленгдон-Томас Г. Дж. Пожарная безопасность в строительстве: Теория и практика / Пер. с англ. Д. С. Курочкиной, А. А. Новобытова. — М. : Стройиздат, 1977. — 256 с.
10. Барабаш В. Психология поведения при пожарах // Пожарное дело. — 1982. — № 3. — С. 15–17.
11. СНиП II-2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. — Введ. 01.01.1982. — М. : Стройиздат, 1981. — 14 с.
12. 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. : ВИПТШ МВД СССР, 1985.
13. PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6). — BSi, 2004.
14. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. — Введ. 28.12.2005 // Вестник Мэра и Правительства Москвы. — 2006. — № 7.

15. Холщевников В. В. Определение расчетного времени эвакуации людей : пособие для специалистов проектных и монтажных организаций, заказчиков, страховых компаний, инвесторов и контролирующих органов. — М. : ВАНКБ, Университет комплексных систем безопасности и инженерного обеспечения, 2004.
16. СТО 01422789-001-2009. Проектирование высотных зданий. — М. : ЦНИИЭП жилища, 2009. — 186 с.
17. СТО НОСТРОЙ 2.35.73-2012. Инженерные сети высотных зданий. Системы обеспечения комплексной безопасности высотных зданий и сооружений. — Введ. 22.06.2012. — М. : Изд-во БСТ, 2014. — 205 с.
18. Холщевников В. В., Кудрин И. С., Белосохов И. Р. Эвакуация людей при пожаре в высотных зданиях. Ч. 3 // Высотные здания. — 2012. — № 2. — С. 114–119.
19. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. URL: <http://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 10.03.2016).
20. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” / А. А. Абашкин и др. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.
21. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en> (дата обращения: 10.03.2016).
22. Fahy R. F., Proulx G. Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling // Proceedings of the 2nd International Conference on Human Behavior in Fire. — London : Interscience Communications Ltd., 2001.
23. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. — Введ. 01.01.1998. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854592.pdf> (дата обращения: 01.03.2016).
24. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2012. — № 29, ст. 3997.
25. О внесении изменений в приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : приказ МЧС России от 02.12.2015 № 632. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420324026> (дата обращения: 01.03.2016).
26. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфененко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Ч. 1. — Т. 20, № 3. — С. 41–51; Ч. 2. — Т. 20, № 4. — С. 31–39.
27. Белосохов И. Р. К проблеме формирования продолжительности времени начала эвакуации людей при пожаре // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2011. — Вып. 2(36). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-2/2011-2.html> (дата обращения: 20.01.2016).
28. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 153 с.
29. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2013.
30. Истратов Р. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 160 с.
31. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 191 с.
32. Холщевников В. В. Влияние методов натурных наблюдений на определение числовых характеристик закона распределения расчетной величины скорости людского потока // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 71–80.
33. Волков П. П., Оксень В. Н. Информационное моделирование эмоциональных состояний. — Минск : Высшая школа, 1978. — 127 с.
34. Шильдс Т. Дж., Бойс К. Е., Самошин Д. А. Исследование эвакуации из торговых комплексов // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 6. — С. 57–66.
35. СП 59.13330.2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная ред. СНиП 35-01-2001. — Введ. 01.01.2013. URL: <http://base.garant.ru/70158682/> (дата обращения: 10.02.2016).

36. СП 35-101-2001. Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. Общие положения. — Введ. 16.07.2001. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023318> (дата обращения: 10.02.2016).
37. Кирюханцев Е. Е., Холицевников В. В., Шурин Е. Т. Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке // Безопасность людей при пожарах : сборник статей. — М. : ВИПТШ МВД РФ, 1999.
38. Шурин Е. Т., Самошин Д. А. Результаты экспериментов по определению некоторых параметров эвакуации немобильных людей при пожаре // Системы безопасности : 10-я науч.-техн. конф. — М. : Академия ГПС МВД РФ, 2001. — С. 114–117.
39. Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Оценка мобильных качеств пациентов различных отделений городских клинических больниц // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 42–44.
40. Истратов Р. Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 54–63.
41. Fechner G. Elemente der Psychophysik. — Auflagen, Leipzig, 1889.
42. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_95720/ (дата обращения: 10.02.2016).
43. Таранцев А. А. Методы расчетной оценки динамики пожаров в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 82–85.

Материал поступил в редакцию 30 марта 2016 г.

Для цитирования: Самошин Д. А., Холицевников В. В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.

English

PROBLEMS OF REGULATION OF TIME TO START EVACUATION

SAMOSHIN D. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: inbox-d@mail.ru)

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation); Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: reglament2004@mail.ru)

ABSTRACT

Lack of reliability and effectiveness of automatic fire protection systems of buildings and structures do not allow to fulfill the requirements of technical regulations on limitation of spread of fire hazards (OFP) by placing the focus of its occurrence. Beyond this room, OFP have such a broad distribution that, despite the normative mode of operation of fire protection systems, people are still a few dozen seconds to escape safely from the floor. So many years the maximum reduction the time to start their evacuation is an urgent task for scientists and regulatory bodies around the world.

The article analyzes the history of the regulation of the magnitude of the time to start evacuation in various regulations and the current state of affairs. The starting time of evacuation was examined for the first time after the survey of survivors of the fire in buildings (mostly residential) in the UK in the 70th of the last century and then continued in the U.S. and Canada. In our country the first studies were conducted in the 80th of the last century. Such studies, unfortunately, are occasionally held in other countries.

The main problems of application of this parameter in Russian practice is that people should wait some time before evacuation. It's indicated that the type of warning system influences the starting

time of evacuation, but the opposite way, i. e. the higher type of warning system, the start time of evacuation should be longer. This is due to the fact that with increasing type of warning system the complexity of the system, is growing which increases its inertia.

It is shown that incorrect normalization of the time to start evacuation of people leads to the prediction of the places the formation of clusters in an entirely different place that does not allow to ensure the safety of people during evacuation and leads to excessive costs during construction. There are presented the results of the active study in our country made in recent years in educational and scientific centre of problems of fire safety in construction of Academy of State Fire Service of Emercom of Russia. There are outlined the scientific-methodical principles and methods of the research, based on the concept of psychophysical conditionality of the probabilities of human behavior at the stage of formation of start time of evacuation.

Keywords: start time of evacuation; type of warning system; problems of regulation; regulatory requirements; distribution law.

REFERENCES

1. Wood P. G. The behaviour of people in fires. *Fire Research Note No. 953*, November 1972. 113 p.
2. Breaux J., Canter D., Sime J. Psychological aspects of behaviour of people in fire situations. *5th International Fire Protection Seminar*, Karlsruhe, 22–24 September, 1976, vol. 2, pp. 22–24.
3. Marchant E. W. Some aspects of human behavior and escape route design. *5th International Fire Protection Seminar*, Karlsruhe, 22–24 September, 1976.
4. Bryan J. L. *Smoke as a determinant of human behavior in fire situations*. Washington, Centre for Fire Research, National Bureau of Standards, 1977. 304 p.
5. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov. Dis. d-ra tekhn. nauk* [Human flows in buildings, structures and on adjoining territories. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 1983. 442 p.
6. Kholshchevnikov V. V. *Issledovaniya lyudskikh potokov i metodologiya normirovaniya evakuatsii lyudey iz zdaniy pri pozhare* [Investigation human flows and valuation methodology evacuation of buildings in case of fire]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russia, 1999. 93 p.
7. Leonov Yu. P. *Teoriya statisticheskikh resheniy i psikhofizika* [Statistical decision theory and psychophysics]. Moscow, Nauka Publ., 1997. 223 p.
8. Quarantelli E. L. *Panic behavior: some empirical observations*. Disaster Research Center, Ohio State University, July 1975.
9. Langdon-Thomas G. J. *Fire safety in buildings*. London, Jensen R., 1975. (Russ. ed.: Langdon-Thomas G. J. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve: Teoriya i praktika*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 256 p.).
10. Barabash V. Psikhologiya povedeniya pri pozharakh [Psychology of behavior in fires]. *Pozharnoye delo — Fire Business*, 1982, no. 3, pp. 15–17.
11. *Construction norms and rules of Russian Federation II-2–80. Fire regulations for designing of buildings and structures*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 14 p. (in Russian).
12. Nikonov S. A. *Razrabotka meropriyatiy po organizatsii evakuatsii pri pozharakh v zdaniyakh s massovym prebyvaniyem lyudey na osnove modelirovaniya dvizheniya lyudskikh potokov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of measures for the organization of evacuation in case of fires in buildings with mass stay of people based on the modeling of the movement of human flows. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1985.
13. PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6). BSi, 2004.
14. Moscow city construction norms 4. 19–2005. Temporary regulations multifunctional design of highrise buildings and complexes of buildings in Moscow. *Vestnik Mera i Pravitelstva Moskvy — Statement of the Mayor and the Government of Moscow*, 2006, no. 7 (in Russian).
15. Kholshchevnikov V. V. *Opredeleniye raschetnogo vremeni evakuatsii lyudey. Posobiye dlya spetsialistov proyektnykh i montazhnykh organizatsiy, zakazchikov, strakhovykh kompaniy, investorov i kontroliruyushchikh organov* [Determining the estimated time of evacuation of people. Aid for design professionals and installation companies, customers, insurance companies, investors and regulatory authorities]. Moscow, WASCS, University of Complex Security Systems and Engineering Maintenance Publ., 2004.

16. Company's code 01422789-001–2009. Designing of high-rise buildings. Moscow, Central Research and Design Institute of Residential and Public Buildings Publ., 2009. 186 p. (in Russian).
17. Company's code of National Associate of Builders 2.35.73–2012. Higher buildings utilities. Integrated safety and security systems of high-rise buildings and constructions. Moscow, BST Publ., 2014. 205 p. (in Russian).
18. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S., Belosokhov I. R. Evakuatsiya lyudey pri pozhare v vysotnykh zdaniyakh. Chast 3 [People evacuation in case of fire in high rise buildings. Part 3]. *Vysotnyye zdaniya — Tall Buildings*, 2012, no. 2, pp. 114–119.
19. The method for determining the estimated fire risk in buildings, structures and buildings of various classes of functional fire hazards. Available at: <http://base.garant.ru/12169057/> (Accessed 10 March 2016) (in Russian).
20. Abashkin A. A. et al. Aid on the use of the method for determining the estimated fire risk in buildings, structures and buildings of various classes of functional fire hazards. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014. 226 p. (in Russian).
21. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en> (Accessed 10 March 2016).
22. Fahy R. F., Proulx G. Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling. *Proceedings of the 2nd International Conference on Human Behavior in Fire*. Interscience Communications Ltd., London, 2001.
23. Construction norms and rules of Russian Federation II–2–80. Fire safety of buildings and works. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854592.pdf> (Accessed 1 March 2016) (in Russian).
24. Technical regulations on fire safety requirements. Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2012, no. 29, art. 3997 (in Russian).
25. *On amendments to the order of Emercom of Russia on 30.06.2009 no. 382*. Order of Emercom of Russia on 02.12.2015 no. 632. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420324026> (Accessed 1 March 2016) (in Russian).
26. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Belosokhov I. R., Istratov R. N., Kudrin I. S., Parfenenko A. P. Paradoxy normirovaniya obespecheniya bezopasnosti lyudey pri evakuatsii iz zdaniy i puti ikh ustraneniya [The paradoxes of safe buildings evacuation regulations and their resolution]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, part 1, vol. 20, no. 3, pp. 41–51; part 2, vol. 20, no. 4, pp. 31–39.
27. Belosokhov I. R. K probleme formirovaniya prodolzhitelnosti vremeni nachala evakuatsii lyudey pri pozhare [The problem of forming the duration of pre-movement time of people in case of fire]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2011, issue 2(36). Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-2/2011-2.html> (Accessed 20 January 2016) (in Russian).
28. Parfenenko A. P. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v zdaniyakh detskikh doskolnykh obrazovatelnykh uchrezhdeniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Regulating fire safety requirements for escape routes and exits from child care centre buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 153 p.
29. Kudrin I. S. *Vliyaniye parametrov dvizheniya lyudskikh potokov pri pozhare na obyemno-planirovochnyye resheniya vysotnykh zdaniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [The influence of parameters of movement flows of people in a fire on the space planning of high-rise buildings. Cand tech. sci. diss.]. Moscow, 2013.
30. Istratov R. N. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v statsionarakh sotsialnykh uchrezhdeniy po obsluzhivaniyu grazhdan pozhilogo vozrasta. Dis. kand. tekhn. nauk* [Regulating fire safety requirements for escape routes and exits from hospitals social service agencies for senior citizens. Cand tech. sci. diss.]. Moscow, 2014. 160 p.
31. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Isaevich I. I. *Naturnyye nablyudeniya lyudskikh potokov* [Observations human flows]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 191 p.
32. Kholshchevnikov V. V. Vliyaniye metodov naturnykh nablyudeniya na opredeleniye chislovykh kharakteristik zakona raspredeleniya raschetnoy velichiny skorosti lyudskogo potoka [The effect of field observation methods on determining numeric characteristics of the law of human flow velocity distribution]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 71–80.

33. Volkov P. P., Oksen V. N. *Informatsionnoye modelirovaniye emotsionalnykh sostoyaniy* [Informational modeling of emotional condition]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 1978. 127 p.
34. Shields T. J., Boyce K. E., Samoshin D. A. Issledovaniye evakuatsii krupnykh torgovykh kompleksov. [Study of evacuation from retail stores]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 6, pp. 57–66.
35. Set of rules 59.13330.2012. Accessibility of buildings and structures for persons with disabilities and persons with reduced mobility. Available at: <http://base.garant.ru/70158682/> (Accessed 10 February 2016) (in Russian).
36. Set of rules 35-101-2001. Design of buildings and structures accessible for physically handicapped persons. Common regulations. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200023318> (Accessed 10 February 2016) (in Russian).
37. Kiryukhantsev E. E., Kholshchevnikov V. V., Shurin E. T. Pervyye eksperimentalnyye issledovaniya dvizheniya invalidov v obshchem potoke [The first experimental study of the disability movement in the general flow]. *Bezopasnost lyudey pri pozharakh: sbornik statey* [The safety of people in fires. Collection of articles]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 1999.
38. Shurin E. T., Samoshin D. A. Rezultaty eksperimentov po opredeleniyu nekotorykh parametrov evakuatsii nemobilnykh lyudey pri pozhare [The results of experiments to determine some parameters of evacuation of immobile people in a fire]. *Sistemy bezopasnosti. 10-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Safety Systems. 10th Scientific and Technical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2001, pp. 114–117.
39. Samoshin D. A., Istratov R. N. Otsenka mobilnykh kachestv patsiyentov razlichnykh otdeleniy gorodskikh klinicheskikh bolnits [An evaluation of patient's mobile characteristics in the different departments of the city hospitals]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 42–44.
40. Istratov R. N. Issledovaniye vozmozhnostey spaseniya pri pozhare nemobilnykh lyudey iz statsionarov lechenno-profilakticheskikh i sotsialnykh uchrezhdeniy [Study on rescue possibilities of immobile people from medical and social institutions in case of fire]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 54–63.
41. Fechner G. *Elemente der Psychophysik*. Auflagen, Leipzig, 1889.
42. Technical regulations on safety of buildings and structures. Federal Law of Russian Federation on 30.12.2009 No. 384. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_95720/ (Accessed 10 February 2016) (in Russian).
43. Tarantsev A. A. Metody raschetnoy otsenki dinamiki pozharov v pomeshcheniyakh [Estimation methods of fire dynamics in premises]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 82–85.

For citation: Samoshin D. A., Kholshchevnikov V. V. Problemy normirovaniya vremeni nachala evakuatsii [Problems of regulation of time to start evacuation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.

К. Ж. РАИМБЕКОВ, канд. физ.-мат. наук, заместитель начальника по научной работе, Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан (Республика Казахстан, 020000, Акмолинская обл., г. Кокшетау, ул. Акана-Серы, 136; e-mail: arman_1703@mail.ru)

УДК 614.841(043)

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Описана адаптация метода оценки пожарной опасности к муниципальным образованиям Республики Казахстан с использованием интегральных (территориальных) пожарных рисков. На основе методики оценки пожарной опасности и анализа пожарных рисков рассчитан комплексный показатель пожарной опасности сельской местности Республики Казахстан. Проведен сравнительный анализ пожарных рисков в регионах республики. Показано, что полученные результаты позволят в дальнейшем проводить обоснованную оценку эффективности функционирования территориальных подразделений пожарной охраны, а также могут быть учтены при разработке мероприятий по снижению пожарных рисков в муниципальных образованиях и при проектировании противопожарной службы.

Ключевые слова: теория интегральных пожарных рисков; основные пожарные риски; анализ обстановки с пожарами; комплексный показатель пожарной опасности; сравнительный анализ.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.52-56

В 2015 г. в Республике Казахстан насчитывалось 17,4 млн. чел., 43 % из которых проживали в сельской местности. В том же году в Казахстане было зарегистрировано 14,8 тыс. пожаров, из них 8,8 тыс. (59 % всех пожаров) — в городах и 6,0 тыс. (41 %) — в сельской местности. При пожарах погибло всего 405 чел., из них 248 чел. (61 % всех погибших) — в городах и 157 чел. (39 %) — в сельской местности. Количество пострадавших при пожарах составило 1024 чел., из них 446 чел. (43 % всех пострадавших) — в городах и 578 чел. (57 %) — в сельской местности.

Республика Казахстан состоит из 14 областей и двух городов областного значения с различными социально-экономическими, климатическими и культурно-историческими характеристиками и особенностями [1]. Соответственно, в каждом регионе складывается своя обстановка с пожарами в городах и сельской местности.

Рассмотрим обстановку с пожарами в республике в целом, а также в городах и в сельской местности с точки зрения пожарных рисков (табл. 1) [2].

Из табл. 1 видим, что в 2015 г. в Казахстане на каждые 1000 чел. приходилось в среднем 0,85 пожара (риск R_1); на каждые 100 тыс. чел. в год — в среднем 2,33 жертв пожара (риск R_2); при каждых 100 пожарах погибало в среднем 2,73 чел. (риск R_3); на каждые 100 тыс. чел. за год приходилось в среднем 5,89 пострадавших при пожаре (риск R_4); при

Таблица 1. Пожарные риски в Республике Казахстан в целом R_i , в городах R_i^r и сельской местности R_i^c в 2015 г.

Регион	$R_1 \cdot 10^3$	$R_2 \cdot 10^5$	$R_3 \cdot 10^2$	$R_4 \cdot 10^5$	$R_5 \cdot 10^2$
Казахстан в целом	0,85	2,33	2,73	5,89	6,92
Города	0,88	2,50	2,81	4,50	5,06
Сельская местность	0,80	2,09	2,62	7,71	9,64

Примечание. R_1 — риск для человека оказаться в условиях пожара на каждые 1000 чел.; R_2 — риск погибнуть при пожаре за год на каждые 100 тыс. чел.; R_3 — риск погибнуть при каждых 100 пожарах; R_4 — риск получить увечье при пожаре за год на каждые 100 тыс. чел.; R_5 — риск получить увечье при каждых 100 пожарах [3].

каждых 100 пожарах пострадало в среднем 6,92 чел. (риск R_5) [4].

Из табл. 2 следует, что риски R_1 , R_2 и R_3 в сельской местности в 2015 г. были немного ниже, чем в городах, а риски R_4 и R_5 напротив — значительно

Таблица 2. Сравнительный анализ пожарных рисков в Республике Казахстан в 2015 г.

Отношение рисков	$\frac{R_1^c}{R_1^r}$	$\frac{R_2^c}{R_2^r}$	$\frac{R_3^c}{R_3^r}$	$\frac{R_4^c}{R_4^r}$	$\frac{R_5^c}{R_5^r}$
Значение отношения	0,90	0,84	0,93	1,71	1,91

выше аналогичных рисков в городах (в 1,71 и 1,91 раза соответственно).

Комплексный показатель пожарной опасности сельской местности $K_{\text{по}}^c$ представим в виде следующего произведения [5]:

$$K_{\text{по}}^c = \prod_{i=1}^5 \frac{R_i^c}{R_i^r} = \frac{R_1^c}{R_1^r} \frac{R_2^c}{R_2^r} \frac{R_3^c}{R_3^r} \frac{R_4^c}{R_4^r} \frac{R_5^c}{R_5^r}.$$

Используя данные табл. 2, вычислим комплексный показатель пожарной опасности сельской местности Республики Казахстан в 2015 г.:

$$K_{\text{по}}^c = 0,9 \cdot 0,84 \cdot 0,93 \cdot 1,71 \cdot 1,91 = 2,3.$$

Это значение можно интерпретировать (с достаточной долей условности) следующим образом: обстановка с пожарами в сельской местности Республики Казахстан в 2015 г. была в 2,3 раза хуже, чем в городах.

Используем данный подход к анализу обстановки с пожарами в сельской местности в различных регионах Республики Казахстан [6]. Значения основных пожарных рисков по областям Казахстана приведены в табл. 3.

В табл. 4 представлены сравнительный анализ основных пожарных рисков и значения комплексного показателя пожарной опасности сельской местности $K_{\text{по}}^c$ [7].

Определив долю населения, числа пожаров, жертв и пострадавших в сельской местности Казах-

стана, мы получим обобщенное представление об обстановке с пожарами в сельской местности на уровне регионов (табл. 5).

Из табл. 4 следует, что в Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Северо-Казахстанской областях риски R_1^c возникновения пожаров в сельской местности приблизительно в 1,5 раза превышают риски в городах [5]. В Алматинской, Акмолинской, Актюбинской, Атырауской и Костанайской областях значения рисков R_1^r и R_1^c практически одинаковы. В Южно-Казахстанской и Жамбылской областях значения рисков возникновения пожаров в сельской местности ниже, чем в городах [8].

В таких областях, как Акмолинская, Мангистауская, Павлодарская, Северо-Казахстанская и Восточно-Казахстанская, риски R_4^c и R_5^c на порядок выше аналогичных рисков R_4^r и R_5^r [5]. В Акмолинской области эти показатели отличаются более чем в 10 раз.

Из табл. 4 и 5 видно, что данные особенности достаточно хорошо характеризуются комплексным показателем $K_{\text{по}}^c$.

В различных областях Республики Казахстан значение $K_{\text{по}}^c$ колеблется от 0,08 (Южно-Казахстанская обл.) до 48,32 (Мангистауская обл.), а для Казахстана в целом составляет 2,3.

Из рисунка наглядно видно, что в Южно-Казахстанской, Атырауской, Костанайской, Алматинской, Жамбылской и Карагандинской областях выполня-

Таблица 3. Значения основных пожарных рисков по областям Казахстана в 2015 г.

Регион	R_1	R_1^r	R_1^c	R_2	R_2^r	R_2^c	R_3	R_3^r	R_3^c	R_4	R_4^r	R_4^c	R_5	R_5^r	R_5^c
Астана	0,95	0,95	0	1,99	1,99	0	2,11	2,11	0	9,03	9,03	0	9,54	9,54	0
Алматы	0,41	0,41	0	1,29	1,29	0	3,08	3,08	0	5,48	5,48	0	13,2	13,2	0
Алматинская обл.	0,79	0,78	0,79	1,98	2,61	1,79	2,51	3,30	2,27	5,20	5,58	5,08	6,62	7,14	6,45
Акмолинская обл.	1,28	1,42	1,15	4,48	7,49	1,80	3,51	5,27	1,56	5,29	0,86	9,23	4,14	0,61	8,03
Актюбинская обл.	0,83	0,80	0,87	1,22	1,17	1,28	1,47	1,47	1,48	7,29	7,45	7,05	8,84	9,29	8,15
Атырауская обл.	0,70	0,78	0,62	1,20	1,82	0,65	1,72	2,33	1,05	2,07	2,19	1,95	2,95	2,79	3,14
Восточно-Казахстанская обл. (ВКО)	1,17	0,99	1,43	3,08	2,54	3,88	2,64	2,57	2,71	6,59	4,59	9,50	5,64	4,64	6,64
Жамбылская обл.	0,60	0,78	0,48	2,55	3,61	1,83	4,23	4,61	3,81	4,64	3,84	5,18	7,70	4,89	10,8
Западно-Казахстанская обл. (ЗКО)	1,07	1,21	0,92	1,59	2,56	0,63	1,49	2,12	0,68	10,1	3,85	16,1	9,39	3,17	17,4
Карагандинск	1,47	1,57	1,10	2,68	3,03	1,38	1,82	1,93	1,25	10,1	8,82	14,5	6,80	5,62	13,2
Кызылординск	0,68	0,79	0,59	1,19	2,15	0,48	1,76	2,71	0,79	3,45	1,23	5,14	5,07	1,55	8,66
Костанайская обл.	1,34	1,24	1,44	4,54	4,35	4,75	3,40	3,51	3,29	6,81	2,17	1,19	5,10	1,76	0,82
Мангистауская обл.	0,46	0,52	0,41	1,65	0,33	2,92	3,58	0,64	7,26	3,29	0,67	5,84	7,17	1,29	14,5
Павлодарская обл.	1,59	1,35	2,16	5,03	3,97	7,52	3,16	2,93	3,49	7,94	3,96	17,3	4,99	2,93	8,01
Северо-Казахстанская обл. (СКО)	1,40	1,21	1,54	8,04	8,23	7,90	5,73	6,78	5,13	14,7	6,58	20,7	10,5	5,42	13,4
Южно-Казахстанская обл. (ЮКО)	0,28	0,46	0,14	0,65	1,12	0,26	2,27	2,43	1,85	1,87	2,25	1,56	6,56	4,86	11,1

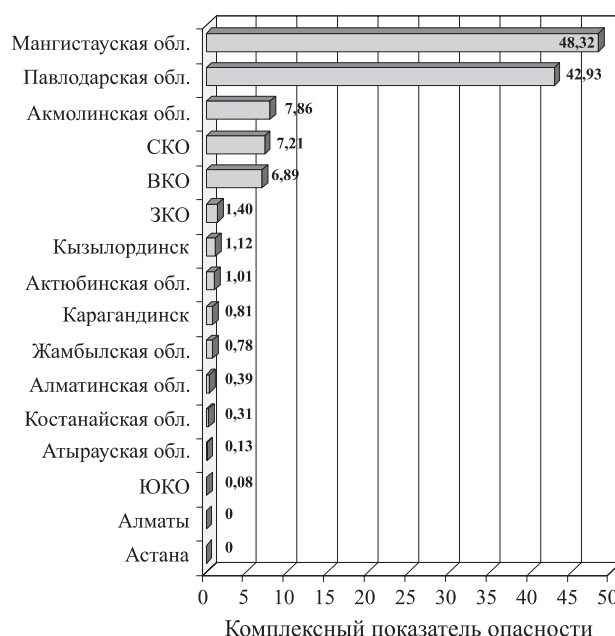
Таблица 4. Сравнительный анализ основных пожарных рисков в Казахстане в 2015 г.

Регион	R_1^c/R_1^r	R_2^c/R_2^r	R_3^c/R_3^r	R_4^c/R_4^r	R_5^c/R_5^r	$K_{по}^c$
Астана	—	—	—	—	—	—
Алматы	—	—	—	—	—	—
Алматинская обл.	1,01	0,68	0,69	0,91	0,90	0,39
Акмолинская обл.	0,80	0,24	0,29	10,73	13,16	7,86
Актюбинская обл.	1,09	1,09	1,01	0,95	0,88	1,01
Атырауская обл.	0,79	0,36	0,45	0,89	1,13	0,13
Восточно-Казахстанская обл.	1,45	1,53	1,05	2,07	1,43	6,89
Жамбылская обл.	0,62	0,51	0,83	1,35	2,21	0,78
Западно-Казахстанская обл.	0,76	0,25	0,32	4,18	5,49	1,40
Карагандинская обл.	0,70	0,46	0,65	1,64	2,35	0,81
Кызылординская обл.	0,75	0,22	0,29	4,18	5,59	1,12
Костанайская обл.	1,16	1,09	0,94	0,55	0,47	0,31
Мангистауская обл.	0,79	5,82	1,97	2,75	1,94	48,32
Павлодарская обл.	1,60	1,89	1,19	4,37	2,73	42,93
Северо-Казахстанская обл.	1,27	0,96	0,76	3,15	2,47	7,21
Южно-Казахстанская обл.	0,30	0,23	0,76	0,69	2,28	0,08

Таблица . Сравнительный анализ обстановки с пожарами в сельской местности Республики Казахстан в 2015 г.

Регион	Доля, приходящаяся на сельскую местность, %				$K_{по}^c$
	Население	Число пожаров	Число жертв	Число пострадавших	
Астана	—	—	—	—	—
Алматы	—	—	—	—	—
Алматинская обл.	75,8	75,9	68,4	74,0	0,39
Акмолинская обл.	52,8	47,6	21,2	92,3	7,86
Актюбинская обл.	37,9	39,8	40,0	36,7	1,01
Атырауская обл.	52,8	47,1	28,6	50,0	0,13
Восточно-Казахстанская обл.	40,7	49,8	51,2	58,7	6,89
Жамбылская обл.	59,7	47,6	42,9	66,7	0,78
Западно-Казахстанская обл.	50,4	43,7	20,0	80,9	1,4
Карагандинская обл.	21,1	16,7	10,8	30,4	0,81
Кызылординская обл.	56,8	49,6	22,2	84,6	1,12
Костанайская обл.	47,8	51,7	50,0	8,3	0,31
Мангистауская обл.	50,8	44,4	62,5	72,7	48,32
Павлодарская обл.	29,9	40,5	44,7	65,0	42,93
Северо-Казахстанская обл.	57,5	63,2	56,5	80,9	7,21
Южно-Казахстанская обл.	55,3	27,3	22,2	46,2	0,08

ется неравенство $0 \leq K_{по}^c < 1$, которое означает, что в этих областях обстановка с пожарами в сельской



Значения комплексного показателя опасности в сельской местности по регионам Казахстана в 2015 г.

местности лучше, чем в городах [9]. В Кызылординской и Актюбинской областях $K_{по}^c < 1$, из чего следует, что обстановка с пожарами в этих областях практически одинакова и в городах, и в сельской местности [10]. В то же время в Мангистауской, Павлодарской, Акмолинской, Северо-Казахстанской, Восточно-Казахстанской и Западно-Казахстанской областях $K_{по}^c > 1$, т. е. обстановка с пожарами в сельской местности в этих областях хуже, чем в городах, причем наиболее сложная обстановка складывается в Мангистауской и Павлодарской областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП РК 3.01-01–2008. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских населенных пунктов. — Введ. 01.06.2009. — Астана : KAZGOR, 2009.
2. Брушлинский Н. Н., Иванов О. В., Клепко Е. А. и др. Пожарные риски (основы теории) : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — 65 с.
3. Брушлинский Н. Н., Шебеко Ю. Н. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2007. — 370 с.
4. Брушлинский Н. Н., Клепко Е. А. Динамика пожарных рисков в России // Снижение риска гибели людей при пожарах : материалы XVIII науч.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 2003. — Ч. 3. — С. 259–268.
5. Брушлинский Н. Н., Клепко Е. А., Попков С. Ю. и др. Анализ обстановки с пожарами в городах и сельской местности субъектов Российской Федерации // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2008. — № 3. — С. 92–99.
6. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Клепко Е. А. и др. Основы теории пожарных рисков и ее приложения : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 192 с.
7. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Humanity and Fires. — Leipzig : German Fire Protection Association, 2010. — 353 p.
8. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. — М. : Деловой экспресс, 2004. — 352 с.
9. World fire statistics. No. 10. Second Edition. — Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2005. — 200 p.
10. World fire statistics. Fire risks in the World. — Moscow – Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2008. — 548 p.

Материал поступил в редакцию 15 февраля 2016 г.

Для цитирования: Раимбеков К. Ж. Комплексный показатель пожарной опасности сельской местности Республики Казахстан // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 52–56. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.52-56.

English

COMPLEX INDEX OF FIRE DANGER RURAL AREAS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

RAIMBEKOV K. Zh., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Kokshetau Technical Institute of the CES MIA of the Republic of Kazakhstan (Akana-Sery St., 136, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan; e-mail address: arman_1703@mail.ru)

ABSTRACT

Purpose. The purpose and objective of the research is to adapt the method of fire risk assessment to the municipalities of the Republic of Kazakhstan with the use of integrated (territorial) fire risks.

Methods. The methodological basis of the research is the theory of integral fire risks. Up to the present time in the Republic of Kazakhstan the complex index of fire danger countryside has not assessed.

Without such research it is impossible to solve the problem of increasing fire safety level of municipalities. There is therefore a need to adapt the known method of fire risk assessment to the municipalities of the Republic of Kazakhstan and this assessment allows to characterize urban and rural fire risk, which determines the relevance of the study. Apply the technique of fire danger level assessment necessary for management decision-making to ensure the fire safety of municipalities based on an integrated indicator.

Results. The serial analysis of fire risks carried out at the national and municipal levels. Based on the results of the research there are proved the values of the complex parameter to assess the level of fire danger municipalities. It was found that the average number of fires in the republic more urban than in rural areas, but the complex index of fire danger countryside more than 2 times worse than

urban. The worst situation is in the countryside in Mangistau, Pavlodar, Akmola, North Kazakhstan, East Kazakhstan and West Kazakhstan regions.

Research application fields. The results can be used by local executive authorities and authorized bodies in the field of fire safety in the development of appropriate management decisions to reduce fire risk in rural areas of the Republic of Kazakhstan, as well as in the design of fire service.

Conclusions. The analysis of fire danger countryside of the Republic of Kazakhstan showed that the complex index of fire danger in the countryside is 2 times worse than in the city. This circumstance is due to the fact that rural areas account for most fatalities and injuries. The main reasons for exceeding the number of injured and killed in the village is the remoteness of rural settlements from the fire and rescue units.

The proposed approach to the assessment of fire danger levels countryside should be used in the development of measures to reduce fire risks in their respective territories.

Keywords: theory of integral fire risks; major fire risks; analysis of the situation with fires; complex index of fire hazard; comparative analysis.

REFERENCES

1. *Construction norms and regulations of the Republic of Kazakhstan 3.01-01–2008. Urban planning. Layout and development of urban and rural communities.* Astana, KAZGOR Publ., 2009.
2. Brushlinskiy N. N., Ivanov O. V., Klepko E. A. et al. *Pozharnyye riski (osnovy teorii)* [Fire risks (basic theory)]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 65 p.
3. Brushlinskiy N. N., Shebeko Yu. N. *Pozharnyye riski. Dinamika, upravleniye, prognozirovaniye* [Fire risks. Dynamics, control, forecast]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2007. 370 p.
4. Brushlinskiy N. N., Klepko E. A. *Dinamika pozharnykh riskov v Rossii* [Dynamics of fire risks in Russia]. *Snizheniye riska gibli lyudey pri pozharakh: materialy XVIII nauch.-prakt. konf.* [Reducing the risk of death of people during fires. Proceedings of the XVIII Scientific-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003. Part 3, pp. 259–268.
5. Brushlinskiy N. N., Klepko E. A., Popkov S. Yu. et al. *Analiz obstanovki s pozharami v gorodakh i selskoy mestnosti subyektov Rossiyskoy Federatsii* [Analysis of the situation with fires in urban and rural areas of the Russian Federation]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2008, no. 3, pp. 92–99.
6. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Klepko E. A. et al. *Osnovy teorii pozharnykh riskov i yeye prilozheniya* [Basic theory of fire risk and its application]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 192 p.
7. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Humanity and Fires*. Leipzig, German Fire Protection Association, 2010. 353 p.
8. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radaev N. N. *Riski v prirode, tekhnosfere, obshchestve i ekonomike* [Risks in nature, the technosphere, society and the economy]. Moscow, Delovoy Ekspres Publ., 2004. 352 p.
9. *World fire statistics. Report № 10. Second Edition.* Berlin, Center of Fire Statistics of CTIF, 2005. 200 p.
10. *World fire statistics. Fire risks in the World.* Moscow – Berlin, Center of Fire Statistics of CTIF, 2008. 548 p.

For citation: Raimbekov K. Zh. Kompleksnyy pokazatel pozharnoy opasnosti selskoy mestnosti Respubliki Kazakhstan [Complex index of fire danger rural areas of the Republic of Kazakhstan]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 52–56. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.52-56.

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

Е. Н. ШИЛИНА, студент, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ГАЗОВОЕ ПОЖАРОТУШЕНИЕ

Дан обзор применения газового пожаротушения. Приведена сравнительная характеристика по составу и свойствам газовых огнетушащих веществ, которые воздействуют на пламя в качестве инертных разбавителей или ингибиторов — химических подавителей реакций в пламени. Среди ингибиторов выделены хладоны, а также разбавители (диоксид углерода) и сжатые газы (азот, аргон). Даны рекомендации по выбору типа газового пожаротушения для защиты объектов с учетом их безопасности для людей и защищаемого оборудования. Дана оценка безопасности газовых огнетушащих веществ по токсичности и “запасу безопасности”, которые могут быть использованы в различных условиях.

Ключевые слова: газовое пожаротушение; типовая схема тушения; датчики пожара; модульные установки; насадки; газовые составы; огнетушащие вещества; химические ингибиторы (хладоны) и деоксиданты; Novac 1230.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65

Газовое пожаротушение — один из видов пожаротушения, при котором путем выпуска газового огнетушащего вещества (ГОТВ) в защищаемое помещение создаются условия для прекращения горения [1, 2] (см. рисунок).

Газовое пожаротушение применяется для ликвидации основных классов пожаров: А (горение твердых веществ), В (горение жидких веществ), С (горение газообразных веществ) и электрооборудования (электроустановок под напряжением) [3]. Перечень объектов, которые могут быть защищены установками газового пожаротушения, охватывает: хранилища банков, архивы, центры обмена данными, музеи, серверные, узлы связи, дизель-генераторные помещения, газоперекачивающие станции и многие другие объекты производственного, хозяйственного и культурного назначения.

Газовое пожаротушение в отличие от других видов пожаротушения осуществляется по всему объ-

ему помещения. При этом газовый огнетушащий состав за короткое время (10 с для хладонов и 60 с для сжатых газов и диоксида углерода (CO_2)) полностью заполняет весь объем помещения, достигает очага возгорания и подавляет горение, не причиняя ущерба материальным ценностям [4].

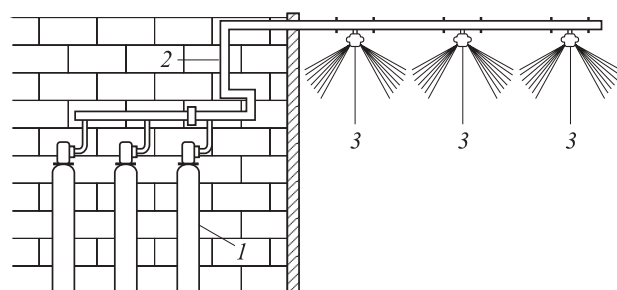
Таким образом, основными достоинствами газового пожаротушения являются:

- безопасность применения по отношению к материалам, оборудованию;
- высокая эффективность и скорость пожаротушения;
- тушение по объему.

В качестве огнетушащих веществ используются газы, приведенные в табл. 1. Применение газов, не входящих в данный перечень, рекомендуется только по дополнительно разработанным техническим условиям для конкретного объекта.

Допускаемые для применения в установках пожаротушения хладоны представляют собой фторсодержащие соединения — перфторуглероды (хладоны 218, 318Ц) или гидрофторуглероды (хладоны 23, 125, 227ea).

Наличие фтора в молекуле углеводорода оказывает очень сильное влияние на его свойства, поскольку связь углерода с фтором является одной из наиболее прочных химических связей. С увеличением содержания фтора в молекуле термическая стойкость фторорганических соединений повышается [5]. Межмолекулярные силы во фторуглеводородах намного



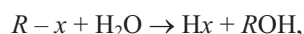
Насадки радиального типа: 1 — баллоны с ГОТВ; 2 — трубопровод; 3 — насадки-распылители

Таблица 1. Газовые огнетушащие составы [3, 4]

Сжиженный газ	Сжатый газ
Диоксид углерода (CO ₂)	Азот (N ₂)
Хладон 23 (CF ₃ H)	Аргон (Ar)
Хладон 125 (C ₂ F ₅ H)	Инерген: азот — 52 % об., аргон — 40 % об., диоксид углерода (CO ₂) — 8 % об.
Хладон 218 (C ₃ F ₈)	
Хладон 227ea (C ₃ F ₇ H)	
Хладон 318Ц (C ₄ F ₈ Ц)	
Шестифтористая сера (SF ₆)	

слабее, чем в углеводородах. Все это определяет малую реакционную способность и повышенную термическую и гидролитическую стойкость фторуглеводородов.

В общем случае процесс гидролиза хладонов протекает по следующему уравнению:



где R — углеводородный радикал;

x — галоген.

Скорость гидролиза определяется природой хладона и металла, температурой и содержанием воды в хладоне [6]. В результате гидролиза образуется галоидоводород, который способен оказывать коррозионное воздействие на металлы. Перфторированные углеводороды (хладоны 218, 318Ц) и шестифтористая сера практически не гидролизуются. Хладоны 23, 125, 227ea гидролизуются в достаточно слабой степени с образованием плавиковой кислоты (HF).

При определении токсичности огнетушащих газов необходимо учитывать следующие основные составляющие: токсичность самого агента и токсичность продуктов его разложения [7].

Фторированные углеводороды имеют довольно высокую термическую стойкость. Причем чем больше степень замещения в молекуле водорода фтором, тем выше их термостабильность. Сравнение данных по термической стойкости фторированных углеводородов показывает, что циклические фторированные углеводороды (хладон 318Ц) имеют гораздо меньшую термостойкость, чем фторированные с линейной структурой молекулы.

При соприкосновении с открытым пламенем, раскаленными или горячими поверхностями фторированные углеводороды разлагаются с образованием различных высокотоксичных продуктов деструкции — фтористого водорода, дифторфосгена, октафторизобутилена и др. [8]. Аналогичные процессы протекают при тушении пожара шестифтористой серой. В этом случае образуются высокотоксичные фтористый водород и пentaфтористая сера [9].

Степень разложения фторированных углеводородов при тушении ими пожара в значительной степени зависит от его размера и времени контакта огнетушащего газа с пламенем. Для снижения токсичности продуктов, образующихся после тушения пожара фторированными углеводородами и элегазом, очень важно, чтобы пожар был обнаружен на ранней стадии его развития и было сокращено время подачи огнетушащего состава.

Используемые в газовых автоматических установках пожаротушения (АУПТ) азот, аргон, диоксид углерода и Инерген состоят из компонентов, входящих в состав воздуха. При тушении пожара они не разлагаются в пламени и не вступают в химические реакции с продуктами горения. Кроме того, они не оказывают химического воздействия на вещества и материалы, находящиеся в защищаемом помещении. При их подаче происходит охлаждение газа [10, 11].

Азот и аргон нетоксичны, но при их подаче в защищаемое помещение происходит снижение концентрации кислорода, что представляет опасность для человека. В этом плане газовый состав «Инерген» более безопасен для человека, чем азот и аргон, что обусловлено присутствием в его составе небольшого количества CO₂. Наличие последнего приводит к увеличению частоты дыхания человека в атмосфере, содержащей Инерген, что позволяет сохранить жизнедеятельность при недостатке кислорода [12].

Инерген — дружелюбный по отношению к окружающей среде газовый огнетушащий состав, являющийся нетоксичным и негорючим веществом. То, что он состоит на 52 % из азота, на 40 % из аргона и на 8 % из углекислого газа (см. табл. 1), определяет его свойства: он не наносит вреда окружающей среде и при тушении не повреждает оборудование и другие предметы. Метод тушения, реализованный при использовании Инергена, состоит в эффекте замещения кислорода. В атмосфере Земли содержится примерно 21 % кислорода. Метод замещения кислорода заключается в том, чтобы понизить уровень его содержания примерно до 12–15 %. При такой концентрации кислорода большинство органических материалов неспособны гореть, и горение прекращается через 30–45 с [13].

Газовые огнетушащие вещества по их действию можно разделить на две группы:

- *первая* — ингибиторы (хладоны), механизм тушения которых основан на химическом ингибировании (замедлении) реакции горения. Попадая в зону горения, эти вещества интенсивно распадаются с образованием свободных радикалов, которые вступают в реакцию с первичными продуктами горения. При этом происходит снижение скорости горения до полного затухания. Ог-

нетушащая концентрация хладонов в несколько раз ниже, чем сжатых газов, и составляет от 7 до 17 % об. Хладоны, приведенные в табл. 1, рекомендуются к применению специалистами, так как их озоноразрушающий потенциал равен нулю;

- *вторая* — разбавляющие атмосферу газы (десиканты, см. табл. 1) [14]. Принцип разбавления атмосферы заключается в том, что при вводе сжатого газа при пожаре в помещении содержание кислорода снижается до 12 %, т. е. создаются условия, не поддерживающие горение.

По физическим свойствам ГОТВ подразделяют на сжиженные (хладоны и CO_2) и сжатые (азот, аргон, Инерген). Сжиженные ГОТВ позволяют использовать для их содержания компактные установки. Наиболее часто применяются современные хладоны 125ХП и 227еа. При огнетушащей концентрации они создают среду, пригодную для дыхания. Нормативная огнетушащая концентрация хладона 125ХП для класса пожара А2 (в серверных и т. п.) составляет 9,8 %, хладона 227еа — 7,2 %. При экспозиции 30 с безопасная концентрация хладона 125ХП составляет 13,5 %, хладона 227еа — 12 %. Однако без крайней необходимости подача газа в помещение в присутствии людей запрещена. Персонал объекта должен покинуть помещение до пуска газового огнетушащего состава по сигналам звуковых и светозвуковых оповещателей, которые входят в состав автоматической установки газового пожаротушения (АУГП).

Согласно нормам на проектирование хладоны подают в помещение за 10–15 с, что позволяет эффективно ликвидировать очаг загорания в считанные секунды и исключить появление продуктов термозлоложения.

Диоксид углерода менее эффективен, чем хладоны. Его нормативная концентрация для класса пожара А2 составляет 34,9 %. При этом он создает атмосферу, непригодную для дыхания. Безопасная для человека концентрация CO_2 не превышает 5 % [15]. Для установок с CO_2 безопасность персонала защищаемого помещения обеспечивается своевременной и организованной эвакуацией до подачи газа, надежной работой оповещателей, организационно-техническими мероприятиями. CO_2 обычно применяют для защиты технологических объектов без пребывания людей или помещений с периодическим пребыванием обученного персонала. Не рекомендуется его применять для защиты помещений с массовым пребыванием людей (более 50 чел.).

Достоинством CO_2 является его высокая термостойкость. Благодаря этому свойству его предпочтительно применять для тушения тлеющих пожаров класса А1, так как высокие температуры тления сохраняются длительное время.

Стоимость CO_2 на порядок ниже по сравнению с хладами. Однако CO_2 менее эффективен и в меньшем количестве содержится в баллоне, а стоимость модуля для него выше, чем для хладона, поэтому стоимость защиты объекта установкой с CO_2 и хладом сопоставимы.

Ограничения, необходимые для практического использования ГОТВ, заставили ученых многих стран приступить к разработке огнетушащего состава, который должен соответствовать жестким требованиям [16]:

- иметь высокую эффективность при тушении огня;
- быть безопасным для людей;
- представлять безопасность для дорогостоящего оборудования;
- обладать нулевым озоноразрушающим потенциалом;
- иметь короткий срок жизни в атмосфере;
- не оказывать влияния на глобальный парниковый эффект (потепление).

Рассматривались сотни различных альтернатив, но ни одна из них не соответствовала этим требованиям, пока в поле зрения ученых не попала одна довольно необычная комбинация — флуорокетон С-6. Ранее этот класс химических веществ считался непригодным для применения в сфере пожарной безопасности, но, как ни странно, именно флуорокетон С-6 оказался той альтернативой, поисками которой был занят весь мир. Этот огнетушащий состав стал производиться корпорацией “3М” и получил название Novec™ 1230. На первый взгляд, Novec™ 1230 похож на простую воду, однако обладает существенно иными свойствами. Необычность новинки была эффектно продемонстрирована в ходе международной выставки “Охрана, безопасность и противопожарная защита” MIPS–2007, где сотрудники ООО “Пожтехника” опускали в прозрачный контейнер, наполненный Novec™ 1230, самые разные предметы — книгу, ЖК-телевизор, ноутбук, сотовый телефон. Электроника, полностью погруженная в контейнер с жидкостью во включенном состоянии, продолжала работать. Книга же совсем не размокла и после извлечения из контейнера быстро высохла — и никаких разводов или деформаций!

Фторкетоны — синтетические органические вещества, в молекуле которых все атомы водорода заменены на прочно связанные с углеродным скелетом молекулы атомы фтора. Такая структура делает вещество инертным с точки зрения взаимодействия с другими молекулами. Испытания, проведенные в различных лабораториях, показали, что фторкетоны являются отличными огнетушащими веществами (с эффективностью, аналогичной хладам), проявляя при этом положительные экологические и токсикологические свойства. Novec™ 1230 — типич-

ный представитель этого класса фторкетон — уже внедряется в практику пожаротушения в ряде стран мира [17].

Новый состав, построенный на основе шестиглеродных молекул, относится к разряду фторированных кетонов. Вещество со слабыми молекулярными связями поглощает тепло гораздо лучше воды и имеет температуру кипения всего 49 °С. Эти свойства чрезвычайно важны при тушении пожаров, особенно на ранней стадии, поскольку NovesTM 1230 интенсивно поглощает тепло зарождающегося пожара. Для испарения этой жидкости требуется в 25 раз меньше энергии, чем для воды (поэтому книга и высохла так быстро). NovesTM 1230 не проводит электрический ток, а значит, электронному оборудованию не грозит короткое замыкание. Более того, едва проникнув внутрь прибора, из-за выделяемого им тепла вещество тут же переходит в газообразное состояние и улетучивается. Под действием ультрафиолетового излучения Солнца молекулы NovesTM 1230 распадаются всего за пять дней в отличие от хладонов, которые разлагаются только через десятки лет после попадания в атмосферу. Кроме того, NovesTM 1230 имеет более низкую огнетушащую концентрацию (3,4 % против 10–12 % у хладона 125). Огнетушащий состав NovesTM 1230 подавляет пожар благодаря комбинации его физических и химических свойств. Огнетушащий механизм в большей мере (70 %) основан на эффекте охлаждения и в меньшей (30 %) — на химической реакции ингибирования пламени.

Для сравнения. Для хладона 125 характерна 100 %-ная химическая реакция, для Инергена — понижение уровня содержания кислорода. В отличие от них NovesTM 1230 не снижает содержания кислорода в помещении, а клинические испытания показали его безопасность для человека. При заправке газового огнетушащего модуля NovesTM 1230

заливается как жидкость, а затем производится наддув газа-вытеснителя (азота) до рабочего давления 24,8 бар.

NovesTM 1230 имеет самую низкую огнетушащую концентрацию — 3,4 % при NOAEL 10 %! Даже при тушении такими безопасными составами, как хладон 227ea и Инерген, концентрация газа в непосредственной близости от насадка-распылителя может значительно превышать нормативную базовую и в большинстве случаев быть больше NOAEL. Превышение NOAEL может оказывать неблагоприятное влияние на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы, а также на легкие человека. Газ NovesTM 1230 имеет почти трехкратный запас гарантийного резерва, что делает его абсолютно безопасным для человека.

Физико-химические свойства ГОТВ, которые необходимы для проектирования автоматических систем пожаротушения, приведены в табл. 2 и 3.

Рекомендации по выбору типа ГОТВ для защиты объекта заключаются в следующем. Выбор газового огнетушащего вещества должен производиться только на основе технико-экономического обоснования. Все остальные параметры, в том числе эффективность и токсичность ГОТВ, нельзя рассматривать как определяющие по ряду причин. Любое из рекомендуемых к применению ГОТВ будет достаточно эффективным и пожар будет ликвидирован, если в защищаемом объеме будет создана нормативная огнетушащая концентрация данного вещества.

Одна из наиболее важных задач при применении огнетушащих газов — обеспечение безопасности персонала защищаемых помещений. Согласно рекомендациям специалистов безопасность персонала достигается предварительной эвакуацией людей до подачи огнетушащего газа по сигналам оповещателей в течение предназначенной для этого

Таблица 2. Сравнительная характеристика ГОТВ — хладонов, элегаза и диоксида углерода [11]

Техническая характеристика	Хладон 218 (FC-2-1-8)	Хладон 125 (HFC-125)	Хладон 227ea (HFC-227ea)	Хладон 23 (HFC-23)	Хладон 318Ц	SF ₆	CO ₂
Молекулярная масса, а.е.м.	—	—	170,03	70,01	200,0	146,0	44,01
Критическая температура, °С	71,9	—	101,7	25,9	115,2	45,55	31,2
Критическое давление, МПа	2,680	3,595	2,912	4,836	2,7	3,81	2,7
Плотность жидкости при 20 °С, кг/м ³	—	—	—	806,6	—	1371,0	—
Критическая плотность, кг/м ³	—	—	—	—	616,0	725,0	616,0
Температура термического разложения, °С	—	—	—	650–580	—	—	—
Нормативная огнетушащая концентрация для <i>n</i> -гептана, % об.	7,2	9,8	7,2	14,6	7,8	10,0	34,9
Плотность паров при давлении 101,3 кПа при 20 °С, кг/м ³	7,85	5,208	7,28	2,93	8,438	6,474	1,88

Таблица 3. Свойства азота, аргона и газового состава "Инерген" [11]

Техническая характеристика (по данным NFPA 2001)	Аргон (Ar) (IG-01)	Азот (N ₂) (IG-100)	Инерген (IG-541)
Молекулярная масса, а.е.м.	39,9	28,0	34,0
Температура кипения при 760 мм рт. ст., °C	–189,85	–195,8	–196
Температура замерзания, °C	–189,35	–210,0	–78,5
Критическая температура, °C	–122,3	–146,9	–
Критическое давление, МПа	4,903	3,399	–
Плотность газа при давлении 101,3 кПа и температуре 20 °C, кг/м ³	1,66	1,17	1,42
Нормативная огнетушащая концентрация для <i>n</i> -гептана, % об.	39,0	34,6	36,5

временной задержки. Минимальная продолжительность временной задержки на эвакуацию составляет 10 с. Проектировщик может увеличить это время с учетом условий эвакуации на объекте.

При выпуске ГОТВ в защищаемое помещение происходит разбавление воздуха и снижение концентрации кислорода. Для поддержания горения необходимым условием является наличие не менее 12,5 % кислорода. Как уже отмечалось выше, при применении сжатых газов (азота, аргона, Инергена) и диоксида углерода пожаротушение основано на принципе разбавления атмосферы с целью снижения содержания кислорода менее чем до 12,5 %, что приводит к прекращению горения. При этом концентрация сжатого газа составляет 36 % и более. При таком способе пожаротушения уменьшение концентрации кислорода ниже 12,5 % вызывает асфиксию (удушье) у людей, что приводит к летальному исходу. В качестве огнетушащих средств некоторые инертные газы эффективны в концентрациях, обеспечивающих снижение содержания кислорода в замкнутом пространстве до 14 % об. При прогнозировании такого уровня недостатка кислорода в газовой среде должна предусматриваться быстрая эвакуация людей, не имеющих дыхательных аппаратов. Задержка эвакуации может привести к острому гипоксическому воздействию на организм человека с потерей двигательной способности. Продолжительное существование газовой среды с пониженным содержанием кислорода может привести к образованию повышенной концентрации оксида углерода — высокотоксичного продукта неполного сгорания материалов.

Химические ингибиторы (хладоны) имеют другой механизм пожаротушения. Попадая в зону горе-

ния, они интенсивно распадаются с образованием свободных радикалов, которые вступают в реакцию с первичными продуктами, в результате чего происходит замедление и прекращение реакции горения. Огнетушащая концентрация хладонов в несколько раз ниже, чем сжатых газов, и составляет 7,2–14,6 % об. При такой концентрации хладона остаточная концентрация кислорода составляет 17,3–19,9 %, что соответствует разреженности воздуха на высоте около 2,5 тыс. м. Такая разреженность воздуха переносится без проблем абсолютным большинством людей. Таким образом, применение хладонов в качестве ГОТВ обеспечивает концентрацию кислорода, необходимую человеку для свободного дыхания.

При выпуске сжатых газов (азота, аргона, Инергена) или диоксида углерода остаточная концентрация кислорода резко снижается до опасных для здоровья человека значений — 10–14 %, поэтому данные ГОТВ могут применяться только при отсутствии людей в помещении.

При применении хладонов (23, 125, 227ea) концентрация кислорода снижается до безопасных для здоровья человека значений — 17–20 %, что обеспечивает ему свободное дыхание и жизнедеятельность. Безопасность персонала в случае несанкционированной подачи огнетушащего газа на людей зависит от его концентрации и времени воздействия (экспозиции). За рубежом проведены широкомасштабные исследования по изучению свойств современных огнетушащих газов — хладонов 125, 227ea и ряда других. Убедительно показано, что воздействие этих газов на людей наиболее безопасно при концентрации, равной огнетушащей или несколько превышающей ее. Сведения о продолжительности (времени) безопасного воздействия хладонов 125 и 227ea на человека в зависимости от концентрации газа приведены в документах ISO 14520, NFPA 2001, а также в руководстве ВНИИПО [18]. Из данного документа следует, что хладоны 125 и 227ea способны обеспечить безопасную эвакуацию персонала в течение не менее 30 с не только при их нормативной огнетушащей концентрации соответственно 9,8 и 7,2 % об., но и при ее превышении на 38 и 67 %. Таким образом, применение хладонов 125 и 227ea в качестве основных газовых огнетушащих веществ наиболее предпочтительно и эффективно для защиты помещений, в которых персонал может находиться постоянно в течение рабочего времени, при этом пожаротушение достигается при концентрациях всего 10 и 7 % соответственно. Кроме того, благодаря термостойкости хладонов 125 является предпочтительным средством для тушения пожаров тлеющих материалов.

В составе технологического оборудования АУГП хладоны содержатся в модулях газового пожароту-

шения под давлением газа-вытеснителя. В качестве газа-вытеснителя отечественные рекомендации предлагают применять азот, но допускается использовать и воздух, для которого точка росы должна быть не выше минус 400 °С (осушенный воздух).

Хладон 125 (HFC-125) безопасен для людей, если остаточная концентрация кислорода после выпуска ГОТВ достигает 18–19 %, что обеспечивает свободное дыхание человека.

Нормативная огнетушащая концентрация хладона 125 составляет 9,8 %, предельно допустимая концентрация — 10 %. Это дает возможность избежать серьезного ущерба здоровью человеку, который некоторое время (до 5 мин) находится в помещении, где произошел выпуск данного ГОТВ.

Для хладона 23 характерно высокое давление собственных паров, что позволяет обеспечить его транспортировку по трубной разводке на большие расстояния по горизонтали (до 100–130 м) и вертикали (до 32–35 м).

Остальные хладоны (125, 227еа, 318Ц) имеют невысокое давление собственных паров, поэтому для обеспечения их выхода из баллонов в нормативное время требуется подкачка баллонов газом-вытеснителем (азотом) до давления 40–42 бар.

Если баллоны с ГОТВ находятся в самом защищаемом помещении или в непосредственной близости от него, то никаких проблем с обеспечением выхода ГОТВ в защищаемое помещение за нормативное время (10 с) не возникает. Однако в тех случаях, когда баллоны размещаются на значительном расстоянии как по горизонтали, так и по вертикали от защищаемого помещения, для выполнения норм требуется увеличение массы ГОТВ, объема газа-вытеснителя и диаметра распределительного трубопровода. Особенно часто такая ситуация возникает при построении централизованных станций газового пожаротушения.

Для сжатых ГОТВ (аргон, азот, Инерген) имеются существенные ограничения по их использованию на территории РФ. Это связано с запрещением применения сосудов под давлением, подлежащих регистрации в органах Госгортехнадзора России в жилых, общественных и бытовых зданиях, а также в примыкающих к ним помещениях. Как правило, все баллоны со сжатыми ГОТВ (аргон, азот, Инерген) необходимо подвергать проверке.

Кроме того, при применении сжатых газов в защищаемом помещении создается избыточное давление примерно 0,4 бар, что может привести к разрушению строительных конструкций и выходу из строя оборудования. Во избежание этого предусматривают специальные клапаны для сброса избыточного давления.

Степень воздействия на людей ГОТВ можно оценить по нескольким параметрам. Важным критерием оценки их безопасности для здоровья и жизни людей является наличие достаточного количества кислорода во вдыхаемом воздухе. При выпуске газового огнетушащего вещества в защищаемое помещение происходит разбавление воздуха и снижение процентного содержания кислорода. Для поддержания горения необходимым условием является наличие не менее 12,5 % кислорода.

Негативные последствия применения ГОТВ для здоровья человека зависят от его типа. Важнейшей характеристикой газового огнетушащего вещества при оценке его влияния на человека является предельно допустимая концентрация (ПДК). Под предельно допустимой концентрацией понимается такая концентрация химических соединений, которая при повседневном влиянии на организм человека в течение длительного времени не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений. ПДК газового огнетушащего вещества — это значение концентрации ГОТВ, выше которой у человека наблюдаются патологические необратимые изменения в состоянии здоровья.

Оценку безопасности газовых огнетушащих веществ по токсичности целесообразно проводить по так называемому запасу безопасности.

Запас безопасности — это разница между предельно допустимой концентрацией и огнетушащей концентрацией ГОТВ. Для тушения помещений с постоянным пребыванием людей допустимо применение хладона 227еа (с запасом безопасности 3,3 %), хладона 318Ц (22,2 %) или хладона 23 (35,4 %).

Таким образом, можно сделать следующие выводы о безопасности газовых огнетушащих веществ для людей:

- применение сжатых (инертных) газов и CO₂ может привести к гибели людей от удушья (асфиксии) из-за низкого содержания кислорода в защищаемом помещении;
- люди, оказавшиеся в помещении при работе систем газового пожаротушения с использованием CO₂, погибают от отравления;
- при использовании всех типов хладонов содержание кислорода в защищаемом помещении обеспечивает нормальное свободное дыхание людей;
- люди, оказавшиеся в помещении при работе систем газового пожаротушения с использованием хладонов, должны покинуть помещение не более чем за 30–60 с;

Таблица 4. Запас безопасности ГОТВ [18] при применении их для тушения помещений с постоянным пребыванием людей

ГОТВ	Остаточная концентрация кислорода после выпуска ГОТВ, %	ПДК, %	Нормативная огнетушащая концентрация, %	Запас безопасности, %	Оценка влияния ГОТВ на человека	Применимость
Хладон 23	18	50	14,6	35,4	Свободное дыхание	Применим
Хладон 318Ц	19	30	7,8	22,2		
Хладон 227ea	19	10,5	7,2	3,3		
Хладон 125	18	10,2	9,8	0,3		
Диоксид углерода	<13	—	34,9	—	Отравление и асфиксия	Не рекомендован
Азот	<13	—	34,6	—	Асфиксия	
Аргон	<13	—	39	—		
Инерген	<13	—	36,5	—		

- применение хладонов в качестве ГОТВ не оказывает патологического воздействия на здоровье людей в течение длительного времени.

Обобщенная оценка уровня безопасности различных типов газовых огнетушащих веществ, проведенная по критерию остаточной концентрации кислорода в защищаемом помещении и критерию токсичности (запас безопасности), дана в табл. 4.

Выводы

Газовое пожаротушение — это важнейшая часть системы противопожарной автоматики, от качественного проектирования и монтажа которой зависят жизни людей и сохранность оборудования. Это означает, что экономить на автоматической системе нецелесообразно, так как это может повлечь за собой ложное срабатывание автоматики в момент, когда люди еще находятся на рабочих местах, т. е. без включения системы оповещения, что может привести к

человеческим жертвам даже без возникновения огня или подвести в нужный момент, когда при наличии пламени окажется, что система не готова выполнять свои функции.

Помещение, оснащенное станцией газового пожаротушения, необходимо оборудовать вытяжной вентиляцией для удаления воздуха. К положительным качествам применения оборудования газового пожаротушения относятся быстрота ликвидации возгорания и скорость проветривания помещения.

В то же время газовое пожаротушение имеет и некоторые недостатки: тушение пожара газом требует герметизации помещения; газовое пожаротушение малоэффективно в помещениях большого объема и на открытом пространстве; хранение снаряженных газовых модулей и техническое обслуживание системы пожаротушения сопряжены с трудностями, которые сопутствуют хранению веществ под давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NFPA 2001. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. — USA, Quincy : National Fire Protection Association, 2000.
2. Creitz E. C. Inhibition of diffusion flames by methyl bromide and trifluoromethyl bromide applied to fuel and oxygen sides of the reaction zone // Journal of Research of the National Bureau of Standards. — 1961. — Vol. 65A, No. 4. — P. 389–396. DOI: 10.6028/jres.065a.039.
3. ГОСТ 50969–96. Установки газового пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.1997. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996.
4. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. — М. : Знак, 2000. — 464 с.
5. Burke R., van Tiggelen A. Kinetics of laminar premixed methane — oxygen — nitrogen flames // Bulletin des Sociétés Chimiques Belges. — 1965. — Vol. 74, No. 9-10. — P. 426–449. DOI: 10.1002/bscb.19650740907.
6. Баратов А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. — 364 с.
7. Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва. — М. : Пожнаука, 2007. — 266 с.
8. Корольченко И. А. Основы теории процессов горения : учеб. пособие. — М. : Галлея-Принт, 2015. — 312 с.
9. Денисов Е. Т., Азатян В. В. Ингибирование цепных реакций. — Черноголовка : Российская академия наук, 1997. — 268 с.

10. НПБ 88–2001. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования. — Введ. 01.01.2002. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2001.
11. НПБ 51–96. Составы газовые огнетушащие. Общие технические требования пожарной безопасности и методы испытаний. — Введ. 31.03.1996. — М. : ФГУ ВНИИПО МВД России, 1996.
12. Абдурагимов И. М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 11. — С. 18–26.
13. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
14. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пожаров инертными газами в модели помещения с проемами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 2. — С. 65–70.
15. Дауэнгауэр С. А. Сравнение систем пожаротушения // Алгоритм безопасности. — 2009. — № 3. — С. 20–23.
16. Дауэнгауэр С. А. Системы автоматического пожаротушения: критерии выбора // Алгоритм безопасности. — 2001. — С. 38–40.
17. Корольченко А. Я., Трушкин Д. В. Пожарная опасность строительных материалов : учеб. пособие. — М. : Пожнаука, 2005. — 232 с.
18. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа : рекомендации. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. — 96 с.

Материал поступил в редакцию 11 марта 2016 г.

Для цитирования: Корольченко А. Я., Шилина Е. Н. Газовое пожаротушение // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65.

English

GAS EXTINGUISHING

KOROLCHENKO A. Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHILINA E. N., Student, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

The article is devoted to the development of the system of automatic gas fire suppression systems based on extinguishing gases (inert compounds of deterrents, inhibitors of combustion processes and a new class of fire extinguishing gases forgothow). This paper analyzes the major elements of modern fixed gas fire-fighting systems: fire sensors are emerging, systems of transporting extinguishing agents to the fire, sensors sputtering, the gas properties of substances and their compositions. Summarized the way of changes in the efficiency of suppression of fires of various means of extinguishing gas. At the previous stage of development of fire extinguishing systems is most effective fire-extinguishing agents were the halocarbons — halogenated hydrocarbons, which were substances, inhibiting the combustion process, but having high toxicity on humans and negative impact on the environment that deplete the ozone layer of the atmosphere protects living beings from ultraviolet radiation from the sun. To avoid these impacts by international agreements all countries to reduce the production of freons, to reduce their release into the atmosphere and by 2030 to stop production. As a result of the search for alternative means of gas extinguishing specialists found substances not inferior in the efficiency of the suppression of the combustion of the carbons, but not with their negative properties. Representative of such compounds was Novec™ 1230 — fluoroceten in the molecule where all the hydrogen atoms are replaced by fluorine atoms. Fire extinguishing concentration of this compound provide was even lower than the most efficient refrigerant and is equal to 4.2 %. This concentration is safe for humans. Further studies have shown the possibility of replacing refrigerant liquid with a low boiling point in existing installations Novec™ 1230 without processing of the systems themselves. The latter is especially important for industries with continuous manufacturing process and remote from the sources of supply, for example for drilling rigs on

the shelf. Transportation of fluoroceten possible without any restrictions by any means of transport, including aviation.

In conclusion, the article suggested the following ways of development of systems of fixed gas fire-extinguishing installations: application of gas sensors addressable fire detection, battery replacement cylinders for modular installation (to avoid piping systems, the use of new designs of nozzles-spraying devices, the use of effective and safe extinguishing gas Novec™ 1230 fluoroceten.

Keywords: gas extinguishing system; typical scheme of extinguishing; fire sensors; modular systems; nozzles; gas formulations; fire extinguishing substances; chemical inhibitors (halons) and deoxidant; Novec™ 1230.

REFERENCES

1. *NFPA 2001. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*. USA, Quincy, National Fire Protection Association, 2000.
2. Creitz E. C. Inhibition of diffusion flames by methyl bromide and trifluoromethyl bromide applied to fuel and oxygen sides of the reaction zone. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 1961, vol. 65A, no. 4, pp. 389–396. DOI: 10.6028/jres.065a.039.
3. *National standard of the Russian Federation 50969–96. Automatic gas fire extinguishing systems. General technical requirements. Test methods*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1996.
4. Sharovarnikov A. F. *Protivopozharnyye peny. Sostav, svoystva, primeneniye* [Fire-fighting foam. Composition, properties, application]. Moscow, Znak Publ., 2000. 464 p.
5. Burke R., van Tiggelen A. Kinetics of laminar premixed methane – oxygen – nitrogen flames. *Bulletin des Sociétés Chimiques Belges*, 1965, vol. 74, no. 9–10, pp. 426–449. DOI: 10.1002/bscb.19650740907.
6. Baratov A. N. *Goreniye – Pozhar – Vzryv – Bezopasnost* [Burning – Fire – Explosion – Safety]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003. 364 p.
7. Korolchenko A. Ya. *Protsessy goreniya i vzryva* [Combustion and explosion processes]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 266 p.
8. Korolchenko I. A. *Osnovy teorii protsessov goreniya* [Basic theory of combustion processes]. Moscow, Galleya-Print Publ., 2015. 312 p.
9. Denisov E. T., Azatyan V. V. *Ingibirovaniye tsepnykh reaktsiy* [Inhibition of chain processes]. Chernogolovka, Russian Academy of Sciences Publ., 1997. 268 p.
10. *Fire protection standards 88–2001. Fire extinguishing and alarm systems. Designing and regulations norms*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2001.
11. *Fire protection standards 51–96. Gas fire extinguishing compositions. General technical requirements of fire safety and test methods*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1996.
12. Abduragimov I. M. Predelnyye yavleniya v goreni kak nauchno-teoreticheskaya osnova pozharovzryvbezopasnosti [The limiting phenomena in burning as scientific-theoretical basis of the fire-and-explosion safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 11, pp. 18–26.
13. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
14. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye pozharov inertnymi gazami v modeli pomeshcheniya s proyemami [Fire extinguishing by inert gases in the model of room with openings]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 65–70.
15. Dauengauer S. A. Sravneniye sistem pozharotusheniya [Comparison of fire extinguishing systems]. *Algoritm bezopasnosti — Security Algorithm*, 2009, no. 3, pp. 20–23.
16. Dauengauer S. A. Sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya: kriterii vybora [Automatic fire extinguishing systems: selection criteria]. *Algoritm bezopasnosti — Security Algorithm*, 2001, pp. 38–40.
17. Korolchenko A. Ya., Trushkin D. V. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire risk of construction materials]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 232 p.
18. *Sredstva pozharной avtomatiki. Oblast primeneniya. Vybora tipa* [Fire automation tools. Application area. Select the type]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2004. 96 p.

For citation: Korolchenko A. Ya., Shilina E. N. Gazovoye pozharotusheniye [Gas extinguishing]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65.

А. Л. ДУШКИН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4)

С. Е. ЛОВЧИНСКИЙ, инженер, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: Lovchinskiy@inbox.ru)

Н. Н. РЯЗАНЦЕВ, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: n-r-60@mail.ru)

УДК 614.841

ПЕРВИЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ АРКТИКИ

Освещены вопросы по применению первичных средств пожаротушения в Арктике. Показано, что в качестве такого средства следует использовать огнетушитель закачного типа, генерирующий поток тонкораспыленной воды с добавками антифриза и галогенсодержащего пенообразователя. С помощью аналитической модели рабочего процесса в закачном огнетушителе определены оптимальные параметры его заполнения газом и жидкостью. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили полученные оптимальные соотношения и продемонстрировали высокую пожаротушающую эффективность огнетушителя в условиях отрицательных температур. В результате экспериментов показана возможность использования тонкораспыленных потоков растворов для тушения электроустановок под напряжением.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода; низкие температуры; антифризы; огнетушитель; пожаротушение.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74

Огнетушители являются самым распространенным первичным средством тушения пожаров. В настоящее время 90 % возгораний тушатся с помощью огнетушителей. Это обусловлено тем, что они обладают полной автономностью и высокой огнетушащей способностью при ручном тушении и вместе с тем имеют относительно низкую стоимость во всех странах по сравнению с другими средствами автоматического и неавтоматического пожаротушения [1, 2]. Однако при столь широком распространении и использовании огнетушителей нет четких правил и рекомендаций по созданию этих устройств с оптимальными параметрами для условий пониженных температур (Арктические и Антарктические районы Земли). Большинство производителей ориентируются на сложившиеся в данной области традиции, которые часто не отвечают возросшим требованиям к первичным средствам подавления возгорания. Конечно, не последнюю роль в создании новых устройств играет их стоимость. При этом большая часть стоимости приходится на рабочую емкость огнетушителя, к которой предъявляются повышенные требования по прочности при высоких уровнях давления наддува. Это приводит к повышению стоимости огнетушителя и его массы из-за необходи-

мости использования высокопрочных материалов и увеличенной толщины стенок. Кроме того, повышаются требования к коррозионной стойкости в среде огнетушащих веществ (ОТВ). В настоящее время в мировой практике сложилось мнение о необходимости ограничения уровня давления наддува рабочей емкости до 2 МПа (20 бар).

Интенсификация освоения арктических районов России в последнее время путем создания новых военных и исследовательских центров и предприятий по добыче нефти и газа, в том числе со дна арктических морей, выдвигает в число первоочередных задач разработку устройств и средств противопожарной защиты этих уникальных районов. При этом необходимо учитывать специфические условия эксплуатации этих устройств, которые существенно отличаются от условий эксплуатации аналогичных устройств в средней полосе России. Характерные особенности эксплуатации средств противопожарной защиты в основном определяются географическим положением и климатическими условиями.

К таким особенностям относятся:

- специфические условия развития аварийных ситуаций в Арктике, сопровождающихся растеплением грунта, разливом нефти и т. д.;

- сложность использования ряда традиционных огнетушащих веществ и установок пожаротушения (водяных, порошковых и т. д.);
- трудности доставки пожарной техники к местам аварий из-за низких температур, ледостава, ледохода и т. п.;
- быстрый рост энергонасыщенности объектов и освоение новых технологий;
- несовершенство нормативных документов, регламентирующих правила пожарной безопасности для Арктики.

Следует отметить, что чем ниже температура воздуха на аварийных объектах, тем больше среднее время ликвидации пожара из-за сложности оперативной обстановки в условиях холодного климата, а также из-за снижения работоспособности технических средств тушения. Наибольшее количество отказов пожарной техники приходится на напорно-рукавные системы мобильных водяных систем при низких температурах.

В последнее время наиболее перспективным направлением противопожарной защиты объектов различного назначения является применение тонкораспыленной воды (ТРВ) [3–5] как средства подавления возгораний разных классов. Особенно актуально ее использование на объектах в арктических районах, где требуется высокая эффективность тушения, имеются ограничения по водоснабжению и транспортировке и необходима минимизация вторичного ущерба от проливов ОТВ. Установки ТРВ имеют более широкий спектр использования и более универсальны, чем остальные средства пожаротушения. Так, в закрытых помещениях они демонстрируют пожаротушение, аналогичное газовому, при размере капель распыленной жидкости менее 30 мкм, а в открытых — поверхностное, как и традиционное, водяное, но более эффективное по потребному количеству воды [6]. По сравнению с порошковыми и газовыми установками пожаротушения (хладоновыми, углекислотными и т. п.) установки ТРВ безопасны для людей и обеспечивают равномерное охлаждение оборудования и предметов в зоне пожара. Что касается газовых и порошковых систем пожаротушения, то они не должны применяться для тушения горючих материалов, склонных к тлению, к которым относятся органические материалы на основе целлюлозы — древесина, бумага, хлопок и т. д. (пп. 7.1 и 8.1 НПБ 88–2001 с дополнением ВНИИПО МЧС РФ от 09.04.2002 № 4.3/2.1/836).

Наибольшие трудности, возникающие при использовании ТРВ в арктических районах, сопряжены с низкими температурами окружающей среды, которые существенно ниже температуры заморозки воды (даже морской), и с отсутствием оптимальных по необходимым параметрам типов рас-

пылителей, генерирующих тонкораспыленную воду. Основные требования к распылителям ТРВ изложены в ГОСТ Р 51043–2002 (Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний), но положительные примеры их конкретного использования не систематизированы, отрывочны и зачастую носят рекламный характер.

Для того чтобы классифицировать воду как ТРВ, в странах таможенного союза установлен средний арифметический размер (диаметр) капель d_{10} не более 150 мкм. Такая вода является мелкодисперсной, а вода с размером капель более 150 мкм относится к крупнодисперсной.

Одним из наиболее важных параметров, определяющих эффективность систем пожаротушения ТРВ, является плотность потока капель распыленной воды на защищаемой поверхности, в объеме защищаемого помещения, вероятность достижения каплями очага пожара [7], а также размеры защищаемых площадей и объемов, образующих эпюру орошения. На все эти параметры влияет способ получения капель и конструкция распылителей. Тонкодисперсный распыл воды достигается прежде всего за счет конструкции распылителя и давления воды, подаваемой в него. Давление от 10 до 60 бар является оптимальным для образования мельчайших капель с достаточной кинетической энергией для охвата больших высот. Такие капли улучшают процесс пожаротушения, но из-за наличия конвективного тока газов от очага пожара они не достигают зоны реакции и нагретых поверхностей.

Вода способна поглотить 0,335 МДж при нагреве 1 дм³ воды от 20 до 100 °С. При переходе этого объема воды в пар (при этом образуется 1,675 м³ пара) дополнительно будет поглощено еще 2,257 МДж. Теоретически, для того чтобы вытеснить весь кислород и потушить объятую огнем комнату средних размеров, достаточно одного ведра распыленной воды. Согласно современным представлениям поток воды можно считать тонкораспыленным, если 99 % капель от всего распыленного объема воды имеют размер менее 1000 мкм.

Взаимодействие потока капель с очагом горения представляет собой тепломассообменный процесс, для которого важна площадь поверхности контакта F капель с горячими газами и поверхностями [8]: $F = fQ_{\text{ж}}\tau$ (где f — удельная площадь, м⁻¹; $Q_{\text{ж}}$ — объемный расход воды, м³/с; τ — время нахождения потока капель в зоне очага возгорания, с).

Очевидно, что чем больше эта площадь, тем эффективнее протекает процесс тушения. Определив удельную площадь как $f = 6R_i^2 n_i / (\sum R_i^3 n_i)$ и средний объемно-поверхностный диаметр по Заутеру [8]

как $d_{32} = \Sigma d_i^3 n_i / (\Sigma d_i^2 n_i)$, получим вытекающее из них соотношение: $f = 6/d_{32}$.

Как известно, высокая эффективность ТРВ [9–11] по сравнению с традиционными водяными системами обусловлена тем, что d_{32} ТРВ значительно меньше, чем у крупнодисперсной воды. Заметим, что средний диаметр по Заутеру d_{32} всегда больше среднего арифметического диаметра d_{10} : для равномерного распределения капель по размерам $d_{10} = 0,66d_{32}$, а для обычно используемого в настоящее время нормально логарифмического распределения капель по размерам (А. Н. Колмогорова) $\ln d_{10} = 3 \ln d_{32} - 2 \ln d_{43}$ (где d_{43} — средний массовый диаметр капель).

Для использования воды в качестве агента пожаротушения при отрицательных температурах Арктики в нее необходимо добавлять вещества, понижающие температуру замерзания растворов, — антифризы. В настоящее время в качестве антифризов используются органические (этиленгликоль, пропиленгликоль, глицерин, этиловый, изопропиловый, метиловый спирты) и неорганические (соли щелочных и щелочноземельных металлов) соединения. Горючесть гликолей не позволяет применять их при пожаротушении с концентрацией более 30 %. К тому же гликоли относятся к токсичным веществам, что осложняет их эксплуатацию.

В настоящее время в качестве хладагентов, антифризов и средств против обледенения летных полей аэродромов используются растворы хлоридов магния и кальция как дешевые и нетоксичные соединения [12]. Растворы солей щелочных металлов NaCl, LiCl, K₂CO₃, CH₃COONa, CH₃COOK до сего времени не получили широкого распространения из-за их высокой коррозионной активности. Самой низкой температурой замерзания (минус 67,8 °С) обладает раствор хлорида лития LiCl. Однако он образует с водой кристаллогидраты, т. е. твердые вещества, которые меняют количество связанной воды ступенчато при температурах минус 63; минус 20,5; 19,5 и 93,5 °С. Этого можно избежать добавлением небольших количеств веществ, препятствующих росту кристаллов.

Работоспособными в характерном для Арктики температурном диапазоне являются водные растворы хлоридов кальция и лития. Причем, как оказалось, добавление небольшого количества мочевины снижает вероятность образования нерастворимых кристаллогидратов хлоридов кальция и лития за счет блокирования кристаллообразования при температурах выше эвтектической [13, 14]. При этом добавка определенного количества фторированных ПАВ (фторПАВ) (типа AFFF) практически не повышает температуру замерзания ОТВ и в то же время не снижает эффективности пожаротушения.

Создание эффективных устройств пожаротушения требует решения ряда научных, конструкторских и экономических задач. Разработчик должен полагаться на технические знания, для того чтобы выбрать характеристики системы, которые были бы самыми подходящими для целей локализации и тушения очагов возгорания твердых, жидких и газообразных веществ. При этом желательно применять один и тот же огнетушащий состав, что связано с универсальностью использования устройства на различных очагах возгорания (классов А, В, Е).

Кроме универсальности и эффективности аппарата пожаротушения, не последнюю роль играет его стоимость. Высокая стоимость ранцевого противопожарного устройства, в десятки раз превосходящая стоимость стандартного огнетушителя, очень сильно снижает возможность его широкого применения, несмотря на все его преимущества при использовании в условиях положительных температур.

Рассмотрим более подробно основные закономерности, которые описывают процессы в закачных аппаратах, подобных традиционному огнетушителю.

Уравнение энергии для закачного аппарата вытекает из первого закона термодинамики и имеет вид:

$$\frac{P_0}{m_{\text{ж}}} \frac{V_0}{V_{\text{ж}}^2} \frac{2F_n^2 (1 - K^{\gamma-1})}{\gamma - 1} \mu^2 = \frac{1}{\tau^2}, \quad (1)$$

где P_0 — начальное давление в емкости, Па;

$m_{\text{ж}}$ — масса (начальная) жидкости в емкости, кг;

V_0 — начальный объем газа в “подушке” емкости, м³;

$V_{\text{ж}}$ — начальный объем жидкости в емкости, м³;

F_n — площадь проходного сечения распыляющего насадка, м²;

K — коэффициент заполнения, т. е. доля “подушки” относительно общего объема; $K = V_0/V_{\Sigma}$;

V_{Σ} — общий объем емкости для аккумуляирования, м³;

γ — показатель политропы;

μ — коэффициент расхода соплового насадка или форсунки;

τ — время выпуска жидкости из емкости, с.

Уравнение записано без потерь кинетической энергии в сопловом насадке. При учете этих потерь истинная скорость истечения $W_{\text{ист}}$ (м/с) уменьшается пропорционально потерям энергии так:

$$W_{\text{ист}}^2 = \frac{W_{\text{ж}}^2}{1 + \xi}, \quad (2)$$

где $W_{\text{ж}}$ — усредненная по массовому расходу скорость истечения жидкости, м/с;

ξ — коэффициент потерь энергии с выходной скоростью, который в общем случае связан с коэффициентом расхода сопла (форсунки) по из-

вестным формулам гидравлики и определяется путем экспериментальных исследований.

Остановимся на влиянии комплекса, включающего в себя коэффициент заполнения K и показатель политропы (адиабаты) γ . Уравнение (1) может быть преобразовано, если параметр $W_{\text{ж}}$ выразить через известные начальную массу жидкости $m_{\text{ж}}$ и время ее выпуска τ :

$$W_{\text{ж}} = \frac{m_{\text{ж}}}{F_{\text{н}} \mu \rho_{\text{ж}} \tau}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, кг/м^3 .

Тогда с учетом выражения массы жидкости через объем при постоянной плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$ и выражения для коэффициента заполнения из (1) и (3) получим:

$$W_{\text{ж}}^2 = \frac{2P_0}{\rho_{\text{ж}}} B, \quad (4)$$

где

$$B = \frac{K}{K-1} \left(\frac{1-K^{\gamma-1}}{\gamma-1} \right). \quad (5)$$

Примечательно, что зависимость (4) соответствует выражению для скорости по уравнению Бернулли при истечении в вакууме. Учет переменности давления, или, вернее, ограниченности запасенной энергии, осуществляется исключительно через комплекс B .

Влияние вида газа определяется в соответствии с уравнением энергии только через показатель адиабаты (или политропы) γ . Как известно, показатель адиабаты для идеального газа зависит от числа атомов в его молекуле и увеличивается от многоатомных газов ($\gamma = 1,33$) к одноатомным ($\gamma = 1,66$). Графические зависимости для комплекса B в зависимости от коэффициента заполнения и показателя адиабаты представлены на рис. 1.

Данные зависимости указывают на слабую зависимость комплекса B от показателя процесса γ , а стремление использовать одноатомный газ в закачных аппаратах не может быть оправданно. Основное влияние на энергию выходящей струи $W_{\text{ж}}^2$ оказывает коэффициент заполнения K , т. е. относительный объем газа в огнетушителе. Из рис. 1 видно, что для получения половины максимальной кинетической энергии достаточно иметь объем “подушки” в емкости, превышающий 0,4 от суммарного объема емкости (для $\gamma = 1,4$, воздух). Увеличение первоначального объема газа требует увеличения объема емкости при том же количестве огнетушащей жидкости. Увеличение объема емкости огнетушителей закачного типа приводит к росту его массы. С другой стороны, повышение кинетической энергии струи возможно путем увеличения начального давления заправки, что также повлечет за собой увеличение

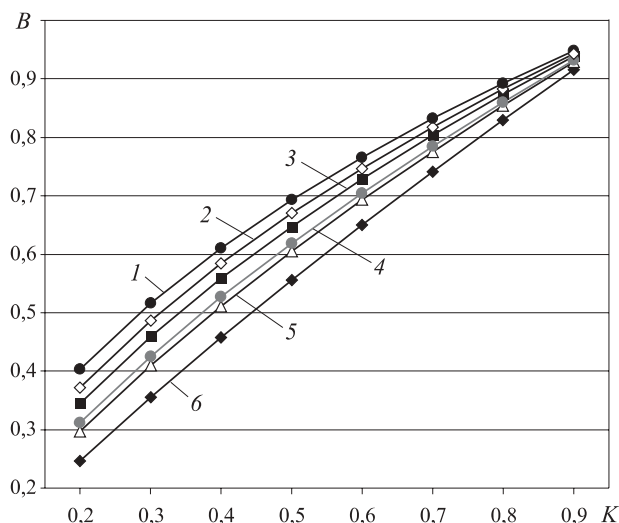


Рис. 1. Зависимость комплекса B от коэффициента заполнения K и показателя адиабаты γ : 1 — 1,0; 2 — 1,1; 3 — 1,2; 4 — 1,3; 5 — 1,4; 6 — 1,6

массы емкости с учетом обеспечения необходимого запаса прочности.

Приведенные на рис. 1 зависимости характеризуют количество потенциальной энергии, запасенной в емкости, но не позволяют определить, как она расходуется в процессе опорожнения емкости.

Используя уравнение Бернулли для расхода через сопловый насадок и адиабатическое соотношение $V = V_0(P_0/P)^{1/\gamma}$, получим выражение, описывающее изменение давления P (МПа) по времени t (с) (текущее время) при опорожнении закачного аппарата:

$$-\rho \frac{V_0}{\gamma P} \left(\frac{P_0}{P} \right)^{1/\gamma} \frac{dP}{dt} = F_{\text{н}} \sqrt{2P\rho_{\text{ж}}}. \quad (6)$$

После интегрирования в пределах от P_0 до P и проведения соответствующих алгебраических преобразований получим зависимость давления от времени истечения:

$$\frac{P}{P_0} = \left[1 + \frac{F_{\text{н}} \mu \gamma}{V_0} \sqrt{\frac{2P_0}{\rho_{\text{ж}}}} (0,5 + 1/\gamma) t \right]^{-\frac{1}{0,5 + 1/\gamma}}. \quad (7)$$

В результате рассмотрения уравнения (6) получена гиперболическая зависимость изменения давления в емкости в процессе истечения из нее жидкости.

Расчет по формуле (7) следует вести до момента времени истечения, определяемого в соответствии с уравнением энергии в форме (1), т. е. $t = \tau$.

Из выражения (7) видно, что увеличение объема V_0 , занятого газом в первоначальный момент, приводит к более плавному изменению расхода и скорости истечения жидкости, а повышение начального давления P_0 — к более резкому падению данных параметров. Для оценки неравномерности истече-

ния были проведены расчеты по истечению 6 л воды при начальном давлении $P_0 = 2$ МПа из емкости объемом 7,4 л ($V_0 = 1,4$ л) и объемом 10 л ($V_0 = 4$ л) при том же давлении.

В первом случае изменение расхода жидкости $G_0/G_k = 2,58$, во втором — $G_0/G_k = 1,82$ (здесь G_0 — начальный расход жидкости, л/с; G_k — конечный расход при $t = \tau$). Кроме того, во втором случае общая запасенная энергия выше в 1,9 раза, чем в первом, в соответствии с уравнением баланса (4). Таким образом, увеличение объема “подушки” приводит к двойному положительному эффекту: росту запасенной энергии при том же давлении и уменьшению неравномерности расхода жидкости и скорости ее истечения из аппарата закачного типа.

Повышение начального давления увеличивает не только средний расход жидкости и запасенную энергию, но и степень изменения расхода и скорости истечения жидкости в процессе опорожнения емкости. Следует отметить, что как увеличение объема, так и повышение давления приводит к росту массы аппарата: в первом случае — за счет увеличения габаритных размеров (длины цилиндрического баллона), во втором — толщины стенки при сохранении того же запаса прочности.

Условие равенства средних кинетических энергий позволяет разработчику определить начальное давление при выбранном объеме V_0 или наоборот — определить V_0 (комплекс B) по выбранному давлению в соответствии с равенством $P_{ст} = P_0 B$ (где $P_{ст}$ — стационарное давление в аппарате с баллоном и редуктором при $B = 1$). Так, например, при $P_{ст} = 1$ МПа, $K = V_0/V_\Sigma = 0,3$, $\gamma = 1,4$ необходимо иметь $P_0 = 1/0,4095 = 2,44$ МПа.

Если задать начальное давление закачки P_0 равным 2 МПа, то аналогично можно определить необходимый относительный объем $K = 0,39$. При выбранном давлении P_0 средний расход может быть определен путем подбора площади проходного сечения сопла при давлении $P = P_0 B$. Этот расход, таким образом, оказывается усредненным по энергии, запасенной в емкости под давлением.

В условиях низких отрицательных температур особенно остро стоит вопрос о минимизации потерь энергии при работе аппаратов, в том числе индивидуальных средств пожаротушения (огнетушителей и ранцевых установок). При работе индивидуальных аппаратов энергия черпается от энергии газа, аккумулированной либо в отдельном от рабочей жидкости сосуде (как в ранцевой установке традиционного типа), либо в одном баке совместно с жидким средством пожаротушения. Отметим, что использование порошковых средств пожаротушения сопряжено со многими известными трудностями, такими, например, как слеживание порошка, что

усугубляется увеличением сил адгезии при капиллярной конденсации паров воды на поверхности твердых частиц в условиях низких отрицательных температур Арктики. В раздельной ранцевой системе газ высокого давления дросселируется в редукторе и только потом воздействует на жидкий агент подобно поршню. Не следует забывать, что из-за эффекта Джоуля–Томсона и без того низкая температура газа в неотапливаемом помещении в условиях Арктики при редуцировании давления с 20 до 1 МПа понижается еще на 50 °С. Работа раздельной системы при очень низких температурах редуцированного газа отличается низкой надежностью, что связано как с увеличением отказов механических устройств (редуктора), так и с возможностью обледенения даже в условиях использования антифризов с предельной температурой не ниже минус 65 °С. При наружной температуре минус 40 °С с учетом дросселирования $\Delta T = 50$ °С в бак с жидким агентом будет подан газ с температурой $T \approx -90$ °С, что вызовет замерзание раствора. По этой причине использование двухфазных аппаратов пожаротушения в арктических условиях должно быть ограничено.

При определении необходимых оптимальных параметров огнетушителя опираются на исходные данные, обусловленные необходимостью тушить очаги возгорания определенного ранга, местом нахождения объекта, а также объемом бака V , максимальным давлением P_0 и массой ОТВ m . Как было уже показано выше, процесс выдавливания рабочей жидкости запасенным газом зависит от отношения объема газовой полости “подушки” к объему бака $K = V_0/V_\Sigma$.

Оптимальными значениями P_0 , V_Σ и m будем считать такие, при которых средняя скорость W будет максимальной. Эта скорость при известных массе m и параметрах выходного насадка F и μ определяется временем выпуска τ . Для определения W рассмотрим комплекс $A = P_0 V_\Sigma / m$, который с физической точки зрения представляет собой удельную энергию, т. е. запасенную максимальную энергию газа на единицу массы жидкости. Отметим, что при $A = \text{const}$ можно получить совершенно разные значения входящих в комплекс величин. Так, при имеющемся объеме бака огнетушителя постоянство комплекса A обеспечивается малыми значениями как давления P_0 , так и массы m . При этом из-за малого начального давления будет невысокой и начальная скорость выпуска жидкости (по уравнению Бернулли), которая необходима для обеспечения надежного пожаротушения с безопасного расстояния. Можно поднять начальное давление P_0 и, соответственно, увеличить массу m , но это приведет к необходимости увеличения толщины стенок бака.

В соответствии с первым началом термодинамики получено выражение для квадрата скорости жидкости (3), т. е. удельной кинетической энергии. С учетом выражения для комплекса A после алгебраических преобразований его можно переписать так:

$$W^2 = 2A(K - K^\gamma)/(\gamma - 1). \quad (8)$$

Из выражения (8) видно, что при $A = \text{const}$ на кинетическую энергию влияет в первую очередь относительный объем бака $K = V_0/V_\Sigma$ и вид газа через показатель адиабаты (политропы) γ .

Максимальное значение средней кинетической энергии W^2 определяется нахождением экстремума функции $W^2 = f(K)$, т. е.

$$dW^2/dK = 0. \quad (9)$$

После проведения соответствующих математических операций получим уравнение для определения оптимального значения K :

$$1 = \gamma K^{\gamma-1}. \quad (10)$$

Так, для воздуха с $\gamma = 1,4$ получим $K = 0,42$, для газа с $\gamma = 1,2$ — $K = 0,4$. Таким образом, найдено оптимальное значение коэффициента заполнения (или относительного объема) газовой полости в огнетушителе. При испытаниях макета огнетушителя полученное оптимальное значение K будет подтверждено экспериментально.

Закачной огнетушитель в процессе его работы, т. е. опорожнения, характеризуется изменением внутреннего давления и, следовательно, расходом струи и скоростью ее истечения. Изменение расхода и скорости истекающей струи, как сплошной, так и раздробленной, приводит к изменению дальности ее полета. Аналитически показано, что изменение давления, расхода и скорости истечения струи в основном определяется начальным давлением P_0 и объемом, занятым газом V_0 .

Для подтверждения этих теоретически полученных взаимосвязей были проведены экспериментальные исследования. Так как скорость и расход жидкой струи в соответствии с уравнением Бернулли определяются только текущим давлением при заданных геометрических размерах проходных каналов, в процессе опорожнения огнетушителя экспериментально устанавливали изменение давления перед распылителем. Измерения давления осуществлялись с помощью индуктивных датчиков давления с индикацией через высокочастотную мостовую схему на запоминающем осциллографе Tektronix TDS 2002. Точность определения изменения давления была не хуже $\pm 3\%$. Наиболее характерные результаты экспериментов представлены на рис. 2.

В этих экспериментах оставались постоянными начальное давление (2 МПа) и количество воды

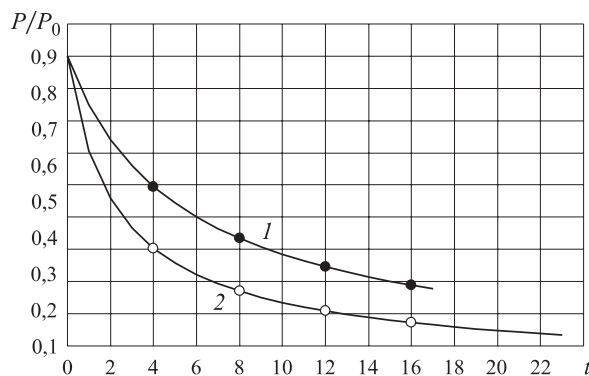


Рис. 2. Результаты экспериментов по изменению давления в процессе опорожнения огнетушителей с объемом воды $V_{ж} = 6 \text{ дм}^3$, $\gamma = 1,4$: 1 — $K = 0,4$, $V_0 = 4 \text{ дм}^3$; 2 — $K = 0,19$, $V_0 = 1,4 \text{ дм}^3$

(6 дм³). На расчетные зависимости (кривые на рис. 2) нанесены экспериментально полученные в процессе опорожнения огнетушителя значения давления (кружочки). Как видно из рис. 2, получено очень хорошее совпадение для огнетушителя с объемом воздуха 4 дм³ при общем объеме 10 дм³ ($K = 0,4$); при этом значение показателя адиабаты γ соответствовало чистому воздуху ($\gamma = 1,4$).

Из графиков видно также, что чем больше начальный объем газа, тем меньше изменение давления и скорости (расхода). Время опорожнения огнетушителя увеличивается с 17 до 23 с при уменьшении коэффициента заполнения с 0,40 до 0,19 для одного и того же количества жидкости и распыляющего устройства на выходе.

Изменение скорости истечения приводит не только к изменению дальности полета распыленной струи, но и к изменению угла ее расширения. С уменьшением давления и скорости истечения угол расширения увеличивается. Так, для испытанных огнетушителей начальный угол расширения составил 10...15°, а в процессе опорожнения баллона с жидкостью он увеличился до 20...30° при использовании струйно-центробежного распылителя [15].

Форсунка с соударяющимися струями [16] более консервативна в этом отношении, так как угол распыления в процессе работы огнетушителя меняется слабо — с 20 до 35°.

Размер капель, генерируемых огнетушителем при использовании распылителя струйно-центробежного типа, $d_{10} = 82...94 \text{ мкм}$, $d_{32} = 185...220 \text{ мкм}$, а для распылителя с соударением струй — $d_{10} = 78...90 \text{ мкм}$, $d_{32} = 165...205 \text{ мкм}$. Измерения проводились с помощью оптического измерителя Malvern Spraytec за 10 с его работы.

Проверка огнетушащей эффективности огнетушителей с раствором антифриза осуществлялась методом тушения модельных очагов горения классов А и В согласно ГОСТ Р 51057–2001. Для этого при-

Результаты тушения модельных очагов

Номер состава	Состав ОТВ, % масс.	Объем ОТВ, л	Температура раствора ОТВ, °С	Ранг очага	
				класса А	класса В
1	Вода — 94, AFFF — 6	6	+18	6А	183В
2	LiCl — 26, мочевины — 8, AFFF — 15, вода — остальное	6	–20	6А	183В
3	LiCl — 29, мочевины — 12, AFFF — 20, вода — остальное	6	+18	6А	183В
			–20	6А	183В
			–53	6А	183В

готовился раствор ОТВ в количестве 6 дм³, который подавался из огнетушителей на модельные очаги возгорания различных рангов классов А и В. Оценка эффективности тушения проводилась на основе рейтингов очагов горения классов А и В (ГОСТ Р 51057–2001), потушенных данным количеством ОТВ.

Хлориды кальция и лития обладают примерно равной эффективностью тушения при добавлении в их растворы фторПАВ (типа AFFF) и мочевины в качестве добавки, снижающей вероятность образования кристаллогидратов. Эффективность тушения модельных очагов классов А и В была такая же, как и при использовании чистой воды с тем же ПАВ (3 % фторПАВ типа AFFF) при объеме ОТВ 6 л.

Результаты тушения модельных очагов огнетушителем [15] с общим объемом 9 л представлены в таблице.

Как видно из таблицы, пожаротушающая эффективность раствора № 3 [13] одинакова при его различных температурах, в том числе характерных для условий Арктики. Раствор CaCl₂ имеет более высокую вязкость, поэтому его использование ограничено.

При растворении неорганических солей в воде электропроводность раствора резко повышается по

сравнению с дистиллированной водой. Для оценки влияния электропроводности растворов огнетушащих веществ на изменение тока утечки по струе факела тонкораспыленной жидкости, генерируемой распылителями, были проведены эксперименты для некоторых ОТВ.

Согласно ГОСТ Р 51057–2001 допустимая величина тока, действующего на человека, не должна превышать 0,5 мА. Отсюда следует, что, например, при испытательном напряжении 36 кВ в переменном поле частотой 50 Гц эквивалентное сопротивление межэлектродного промежутка R_z должно составлять не менее $R_z = 36000/0,005 = 72$ МОм.

Метод испытаний основан на измерении величины электрического тока, протекающего между срезом распылителя и заземленным проводником, который возникает в результате взаимодействия струи ОТВ с имитатором электроустановки. В качестве имитатора используют мишень, представляющую собой металлическую пластину размером $(1000 \pm 25) \times (1000 \pm 25)$ мм, которую устанавливают на опорах-изоляторах и соединяют со вторичной обмоткой трансформатора, обеспечивающего создание между пластиной и землей разности потенциалов (36 ± 4) кВ.

За величину тока утечки по струе ОТВ принимали его максимальное значение за время работы огнетушителя.

В качестве ОТВ использовалась водопроводная вода, водопроводная вода с добавками солей CaCl₂, LiCl, MgCl₂ в концентрации 8...40 % и фторПАВ (типа AFFF) в концентрации 12...16 %.

Результаты проведенных экспериментов показывают возможность использования тонкораспыленных потоков растворов для тушения электроустановок под напряжением, так как ток утечки не превышает 0,25 мА. Малая проводимость распыленных потоков ОТВ объясняется малой объемной долей ($<0,05$) раствора в воздухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю. Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — М. : Пожнаука, 2010. — 94 с.
2. Карпышев А. В., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Афанасьев А. А., Матушкин В. В., Сегаль М. Д. Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 2. — С. 69–73.
3. Abbud-Madrid A., Watson J. D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression of spacecraft fires // Suppression and Detection Research and Applications Conference. — USA, Orlando : National Fire Protection Association, 2007.
4. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression test using a handheld water mist extinguisher design for the International space station // 42nd International Conference on Environmental Systems. — USA, San Diego : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
5. Rodriguez B., Young G. Development of International space station fine water mist portable fire extinguisher // 43rd International Conference on Environmental Systems. — USA, Vail : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.

6. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 53–55.
7. Ольшанский В. П., Ольшанский С. В. К расчету предельной дальности подачи испаряющихся тонкораспыленных огнетушащих веществ установками импульсного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 4. — С. 67–71.
8. Чохонелидзе А. Н., Галустов В. С., Холпанов Л. П., Приходько В. П. Справочник по распыливающим, оросительным и каплеулавливающим устройствам. — М.: Энергоатомиздат, 2002. — 608 с.
9. Цариченко С. Г., Былинкин В. А., Гусев А. Е. Проектирование агрегатных установок пожаротушения с применением тонкораспыленной воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 3. — С. 70–73.
10. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 208 с.
11. Гориков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Пожнаука, 2007. — 267 с.
12. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М.: Стройиздат, 1975. — 240 с.
13. Пат. 2549862 С1 Российская Федерация. МПК А62D 1/02. Огнетушащий состав / Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Ловчинский С. Е. — № 2014106922/05; заявл. 25.02.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12.
14. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. — М.: Наука, 1988. — 736 с.
15. Пат. 2264833 С1 Российская Федерация. МПК А62С 13/62, 31/02, В05В 1/34. Распылитель жидкости и огнетушитель / Долотказин В. И., Душкин А. Л., Карпышев А. В. — № 2004126285/12; заявл. 02.09.2004; опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33.
16. Пат. 2158151 С1 Российская Федерация. МПК А62С 13/00, А62С 31/02, В05В 1/02. Распылитель жидкости и огнетушитель, снабженный распылителем / Душкин А. Л., Карпышев А. В. — № 2000100616/12; заявл. 13.01.2000; опубл. 27.10.2000.

Материал поступил в редакцию 11 декабря 2015 г.

Для цитирования: Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Первичные средства пожаротушения для Арктики // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 66–74. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74.

English

FIST-AID FIRE EQUIPMENT FOR ARCTIC REGION

DUSHKIN A. L., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation)

LOVCHINSKIY S. Ye., Engineer, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: Lovchinskiy@inbox.ru)

RYAZANTSEV N. N., Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: n-r-60@mail.ru)

ABSTRACT

For Arctic Region of Russian Federation a stored pressure extinguisher generating a water mist flow with antifreeze and gallogen-including foam agent and fluorine SAA (surface active agent) added should be applied as the first-aid fire equipment. It is a special priority-task to use water mist at Arctic Region facilities, where high extinguishing capacity is required, there is limited water supply and transportation, FEA-spill-caused collateral damage minimization is necessary. It is advantageous to use LiCl or CaCl₂ salt solutions as antifreeze while employing the above extinguisher in Arctic Region. A certain amount of fluorine SAA (AFFF-type) practically does not increase the SAA freezing temperature without lowering extinguishing capacity. A developed analytical description of the process in a stored pressure extinguisher allows to define optimal correlation with respect to gas filled volume V_0 and total (summarized) extinguisher volume V_{Σ} . At present in world practice an opinion has formed of limiting service bottle pressurization level up to 2 MPa (20 bar). Arctic Region designed 6 l capacity extinguisher tests performed on A Class (solid combustibles) and B Class (flammable

fluid) model fire sites have demonstrated high efficiency under lower temperatures (-52°C) equal to present-day extinguisher efficiency at positive temperatures: A Class — 6A, B Class — 183B. The results of experiments made determine a possibility of atomized solution flow application for extinguishing energized electric sets, as current leak would not exceed 0.25 mA. Negligible conductivity of atomized FEA flows is explained by a small solution volume proportion ($< 0,05$) in the air.

Keywords: water mist; low temperatures; antifreeze; extinguisher; fire extinguishment.

REFERENCES

1. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu. *Ognetushiteli. Ustroystvo. Vyb. Primeneniye* [Fire Extinguishers. Design. Choice. Application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2010. 94 p.
2. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Afanasyev A. A., Matushkin V. V., Segal M. D. Razrabotka vysokoeffektivnogo universalnogo ognetushitelya na osnove generatsii struy tonkoraspylennykh ognetushashchikh veshchestv [Development of the highly effective universal fire extinguisher on basis of generation of sprayed streams of the extinguishing substances]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 69–73.
3. Abbud-Madrid A., Watson J. D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression of spacecraft fires. *Suppression and Detection Research and Applications Conference*. USA, Orlando, National Fire Protection Association, 2007.
4. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression test using a handheld water mist extinguisher design for the International space station. *42nd International Conference on Environmental Systems*. USA, San Diego, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
5. Rodriquez B., Young G. Development of International space station fine water mist portable fire extinguisher. *43rd International Conference on Environmental Systems*. USA, Vail, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
6. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye. Vzaimodeystviye plameni goryuchey zhidkosti s tonkoraspylennoy vodoy [Combustible liquid flame and water mist interaction]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 53–55.
7. Olshanskii V. P., Olshanskii S. V. K raschetu predelnoy dalnosti podachi ispariyayushchikhsya tonkoraspylennykh veshchestv v ustanovkakh impulsnogo pozharotusheniya [To a calculation of an extreme distance of the delivery of vaporablefinely-sprayed fire extinguishing substances with the impulse fire extinguishing devices]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 4, pp. 67–71.
8. Chokhonelidze A. N., Galustov V. S., Kholpanov L. P., Prihodko V. P. *Spravochnik po raspylivayushchim, orositelnym i kapleulavlivayushchim ustroystvam* [Reference book on dispersing, apraying and droplet catching devices]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2002. 608 p.
9. Tsarichenko S. G., Bylinkin V. A., Gusev A. E. Proyektirovaniye agregatnykh ustanovok pozharotusheniya s primeneniym tonkoraspylennoy vody [Design of firefighting equipment for water mist fire suppression]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2003, vol. 12, no. 3, pp. 70–73.
10. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusive combustion of fluids]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
11. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing the flame of flammable liquids]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p.
12. Shrayber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Fire extinguishing means. Chemical and physical processes under burning and suppression]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975. 240 p.
13. Dushkin A. L., Rjazantsev N. N., Lovchinskij S. E. *Ognetushashchiy sostav* [Fire-extinguishing composition]. Patent RU, no. 2549862, 27.04.2015.
14. Landau L. D., Lifshits E. M. *Teoreticheskaya fizika. V 10 tomakh. Tom VI. Gidrodinamika* [Theoretical Physics. Vol. VI. Hydrodynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 736 p.
15. Dolotkazin V. I., Dushkin A. L., Karpyshev A. V. *Raspylitel zhidkosti i ognetushitel* [Liquid sprayer and fire-extinguisher]. Patent RU, no. 2264833, 27.11.2005.
16. Dushkin A. L., Karpyshev A. V. *Raspylitel zhidkosti i ognetushitel, snabzhennyy raspylitelem* [Liquid sprayer and fire-extinguisher fitted with sprayer]. Patent RU, no. 2158151, 27.10.2000.

For citation: Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye., Ryazantsev N. N. Pervichnyye sredstva pozharotusheniya dlya Arktiki [First-aid fire equipment for Arctic Region]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 66–74. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.66-74.

**ВОПРОС:**

Ежегодная статистика пожаров показывает, что по причине нарушения устройства и эксплуатации электрооборудования в России происходит более 40 тыс. пожаров (27 % от общего количества пожаров). Данная причина занимает второе место после неосторожного обращения с огнем (34 % от общего числа пожаров). В связи с этим возникает необходимость в уточнении перечня нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности электроустановок. Какие нормативные документы регламентируют требования пожарной безопасности к электроустановкам?

ОТВЕТ:

В первую очередь хотелось бы отметить, что для каждого вида электротехнической продукции (выключатели, распределительные щиты, аппараты защиты и т. п.) в обязательном порядке разрабатываются стандарты по изготовлению, применению, монтажу и испытаниям. Часть требований этих стандартов только частично затрагивает вопросы, связанные с обеспечением пожарной безопасности электрооборудования. При этом конкретные требования пожарной безопасности на отдельные виды оборудования в стандартах отсутствуют.

По этой причине все нормативные документы в области обеспечения пожарной безопасности электроустановок можно условно разделить на документы “прямого” и “косвенного” действия.

К документам “прямого” действия следует отнести ФЗ 123 [1], ФЗ 69 [2], а также документы [3–5].

В ст. 21 [2] отмечена обязательность указания в соответствующей технической документации изготовителями (поставщиками) оборудования показателей его пожарной опасности, а также мер пожарной безопасности при обращении с ними.

Более конкретные требования пожарной безопасности электроустановок устанавливаются в гл. 6, ст. 20–23 ФЗ 123 [1]. В ст. 50 [1] указывается, что для исключения условий образования в горючей среде источников зажигания необходимо применять электрооборудование, соответствующее классу пожароопасной и (или) взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси, а также быстродействующие средства защитного отключения в конструкции электроустановок. В ст. 82 [1] излагаются основные требования пожарной безопасности к электроустановкам зданий и сооружений, а в п. 3 данной статьи отмечается, что правила применения электрооборудования в зависимости от степени его взрывопожарной и пожарной опасности, показатели пожарной опасности электрооборудования и методы их определения устанавливаются техническими регламентами для данной продукции, принятыми в соответствии с Федеральным законом “О техническом регулировании” [6], и (или) нормативными документами по пожарной безопас-

ности. Это пункт позволяет использовать отдельные положения технических регламентов для отдельных видов электротехнической продукции в качестве нормативных требований пожарной безопасности к электроустановкам, которые можно условно относить к документам “прямого” действия.

Гл. 32 (ст. 141–143) [1] содержит требования к информации о пожарной опасности электротехнической продукции и пожарной безопасности электрооборудования. В ст. 146 [1] для аппаратов защиты электрических цепей и кабельных изделий, к которым предъявляются требования пожарной безопасности, определены схемы, позволяющие подтверждать соответствие продукции требованиям пожарной безопасности (схемы 2с, 3с, 4с, 5с и 6с применяются по выбору заявителя).

В п. 5.15 ГОСТ Р 12.3.047–2012 [3], входящего в Перечень [4], указано, что для разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов следует рассматривать все виды источников зажигания, в том числе искры и дуги размыкания, короткие замыкания, токи перегрузки, перегрев электрических контактов, нагрев элементов оборудования индукционными токами и токами высокой частоты, удары молнии и разряды статического электричества, которые могут встретиться в производственном процессе, и применять там, где это необходимо, искробезопасное и взрывозащищенное электрооборудование, а также определять соответствие силового, осветительного и другого электрооборудования классам взрывоопасных и пожароопасных зон на основании требований ПУЭ [7]).

Часть нормативной литературы из Перечня [4] можно рассматривать как документы “прямого” действия по обеспечению пожарной безопасности электроустановок. К ним относятся требования норм и правил Перечня [4], указанных в п. 6 (пп. 140–189), п. 7 (пп. 190–191) и п. 8 (пп. 192–197, 201–207).

Правила противопожарного режима в Российской Федерации [5] (см. пп. 40–42) следует относить к документам “прямого” действия. В них содержатся требования, устанавливающие порядок организации производства и (или) содержания территорий, зданий, сооружений, помещений и других объектов (в том числе электрооборудования помещений) в целях обеспечения пожарной безопасности.

Документами “косвенного” действия в области обеспечения пожарной безопасности электрооборудования можно считать ТР ТС 012/2011 “О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах” [8] и международные стандарты серии IEC 60079 (оборудование для взрывоопасных газовых сред) и IEC 61241 (оборудование для взрывоопасных пылевых сред). Кроме того, согласно письму МЧС России от 02.06.2011 № 19-3-1-2086 ПУЭ [7, 9] и ПТЭЭП [10] содержат требования технического характера, опосредованно связанные с пожарной безопасностью, по-

этому их следует относить к документам “косвенного” действия.

У различных ведомств и организаций существуют свои корпоративные документы в области обеспечения пожарной безопасности электроустановок, которые в рамках их деятельности будут относиться к документам “прямого” действия. Например, для ассоциации “Росэлектромонтаж” к “прямым” документам можно отнести инструкцию по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон [11] и инструкцию по монтажу электрооборудования в пожароопасных зонах [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 23.06.2014) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. О пожарной безопасности (ред. от 30.12.2015) : Федер. закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.
3. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.
4. Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : приказ Росстандарта от 16.04.2014 № 474 // Вестник технического регулирования. — 2014. — № 5.

5. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 // Собрание законодательства РФ. — 2012. — № 19, ст. 2415.

6. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ // Российская газета. — 2002. — № 245.

7. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.

8. ТР ТС 012/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах (в ред. от 13.05.2014) : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 825. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902307910> (дата обращения: 28.04.2016).

9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) : утв. приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 № 6 // Российская газета. — 2003. — № 139.

11. Инструкция по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон № И 1.01-11. — Введ. 30.10.2011. — М. : Асс. “Росэлектромонтаж”, 2012.

12. Инструкция по монтажу электрооборудования в пожароопасных зонах № И 1.02-09. — М. : Асс. “Росэлектромонтаж”, 2009. — 76 с.

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



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство “ПОЖНАУКА”, 2014. — 40 с. : ил.

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

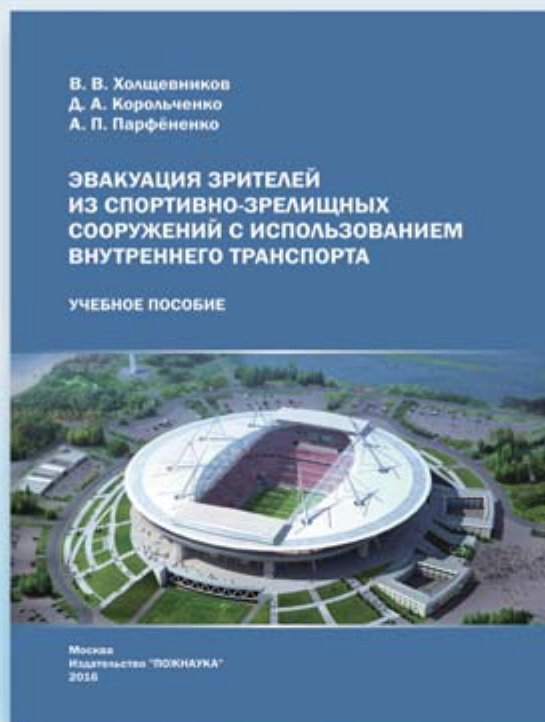
Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию



Учебное пособие

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

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО- ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

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

121352, г. Москва, а/я 43
тел. (495)228-09-03
e-mail: mail@firepress.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

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 информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

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

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

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, 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. Аннотация на русском языке (не менее 5–7 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском

языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

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

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

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

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

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

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

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

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

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации.

2.7. Текст статьи должен быть ясным, лаконичным и структурированным. Редакция рекомендует деление текста на традици-

онные для научной статьи разделы: введение (актуальность, состояние вопроса), цели и задачи, материалы и методы, результаты и их обсуждение, заключение (выводы). Редакция допускает и иную структуру соответственно специфике конкретной статьи при условии четкого наименования разделов.

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

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

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

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

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

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

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

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

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс науч-

ного 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 5 современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

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

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>.

2.9. References (пристайные списки литературы в транслитерации (на латинице) и на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо.

При переводе русскоязычного источника (книги, монографии, диссертации, электронного ресурса и пр.) приводится транслитерация фамилий и инициалов авторов, транслитерация названия источника и в квадратных скобках его перевод на английский язык, год, место издания, название издательства, количество страниц. Место издания должно быть указано на английском языке (Moscow, Saint Petersburg и т. п.). Транслитерированное название издания выделяется курсивом.

Если приводится русскоязычная статья в журнале, то, помимо транслитерации названия статьи и его перевода на английский язык, указанного в квадратных скобках, необходимо дать официальную английскую версию названия журнала (перевод обычно есть на сайте журнала). Если ее нет, то приводится обычная транслитерация. Указывается также год издания, том, номер выпуска, страницы статьи. Название издания выделяется курсивом.

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

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций (<http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>), а также программные средства для их формирования.

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

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

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

ISSN 0869-7493

Открыта
подписка
на журнал

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

При оформлении подписки
через редакцию —
электронная версия
журнала в подарок!

- Стоимость подписки
на 2-е полугодие 2016 г.
(6 номеров) — 5700 руб.
- Стоимость годовой подписки
(12 номеров) — 11400 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- через агентство “РОСПЕЧАТЬ”,
индекс 81913 (полугодовой), 70753 (годовой);
- через агентство “АПР”,
индекс 83647 (полугодовой), 90121 (годовой)
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);
- через подписные агентства:
ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”.



**01-03
ДЕКАБРЯ**

II СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «БЕЗОПАСНОСТЬ. КРЫМ 2016»

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

- Системы и технические средства видеонаблюдения
- Системы и средства ограничения доступа
- Системы и средства обеспечения пожарной безопасности
- Технические средства обеспечения безопасности

Место проведения:

ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

Организатор:



ЭКСПОКРЫМ

+7 (978) 900 90 90

www.exposcrimea.com

Генеральный
информационный
партнер



Генеральный
интернет
партнер



Стратегический
информационный
партнер



Официальная поддержка:



Совет Министров
Республики Крым



ГУ МЧС России по
Республике Крым



МИНПРОТОРГ
Российской Федерации



Ассоциация содействия
торговле Крыма



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный
строительный университет

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.



Научно-исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ строительных материалов;
- ♦ строительных конструкций;
- ♦ огнезащитных составов;
- ♦ кабельных изделий;
- ♦ пенообразователей;
- ♦ фасадных систем.

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru