

4-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН  **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

ПОГЛОЩЕНИЕ
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВОДЯНЫМИ ЗАВЕСАМИ

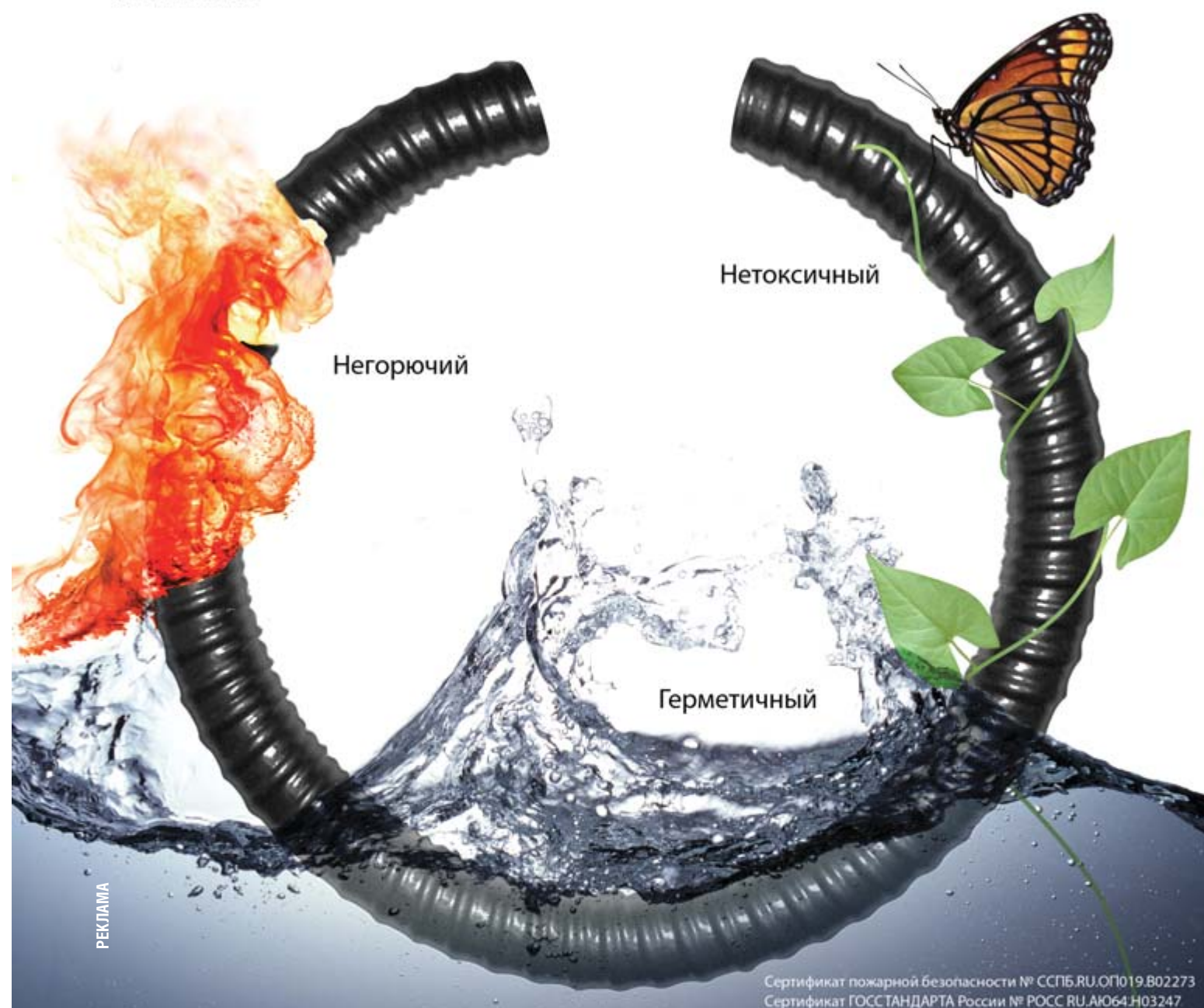


КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



Металлополимерный рукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF



Сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU.ОП019.В02273
Сертификат ГОССТАНДАРТА России № РОСС RU.АЮ64.Н03247

Металлорукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF
с защитной полимерной оболочкой

- не распространяющий горение
- малодымный
- нетоксичный
- герметичный
- гибкий
- увеличенная прочность на разрыв
- диапазон температур – от -50 до +70 °C
- степень защиты IP 65
- сертифицирован

Сферы применения:

- на объектах с повышенной пожароопасностью: тоннели, мосты, метро, жилые здания, склады, заводы, суда, объекты нефтегазового и энергетического комплексов и другие
- прокладка проводов во влажных помещениях
- защита кабеля при скрытой и открытой прокладке
- в системах кондиционирования и обогрева
- в подъемно-транспортном оборудовании
- для транспортировки порошкообразных и сыпучих веществ

8-800-200-4411 (бесплатный звонок из любой точки России)

www.metalang.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

ЧУПРИЯН А. П.
Команда, без которой мне не жить

6

CHUPRIYAN A. P.
The team I can't live without

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

НАХТИГАЛЬ Е. А.
Рассмотрение пожарной безопасности методами
системного анализа

9

NACHTIGALL E.
Systems analysis methods for consideration
of fire safety

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

СМИРНОВ В. В., АЛЕКСЕЕВ С. Г.,
БАРБИН Н. М., ЖИВОТИНСКАЯ Л. О.
Связь показателей пожарной опасности
с химическим строением. IX. Хлоралканы
РУДАКОВ О. Б., ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ М. А.,
КАЛАЧ А. В., СПИЧКИН Ю. В.
Информационно-аналитическая система в оценке технико-
эксплуатационных свойств жидких сред

13

SMIRNOV V. V., ALEXEEV S. G.,
BARBIN N. M., ZHIVOTINSKAYA L. O.
Correlation of fire hazard characteristics
with chemical structure. IX. Chloroalkanes

22

RUDAKOV O. B., PREOBRAZHENSKIY M. A.,
KALACH A. V., SPICHKIN Yu. V.
The information-analytical system in the assessment of technical
and operational properties of liquid mediums

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

БАЛАКИН В. М., КРАСИЛЬНИКОВА М. А.,
СТАРОДУБЦЕВ А. В., ПАЗНИКОВА С. Н.,
АХМЕТОВ Т. И., ЦЕЛОУСОВ Д. В., СМОЛЬНИКОВ М. И.
Сравнительная оценка огнезащитных свойств
фосфорсодержащих антипиренов на основе продуктов
аминолиза полиэтилентерефталата

29

BALAKIN V. M., KRASILNIKOVA M. A.,
STARODUBTSEV A. V., PAZNIKOVA S. N.,
AKHMETOV T. I., TSELOUSOV D. V., SMOLNIKOV M. I.
Comparative evaluation of fire-protective properties
of phosphorus-containing fire retardants based
on polyethyleneterephthalate aminolysis products

Огнезащита "БИЗОН" — уверенность в надежности

33

Fire Retardance "BIZON" — confidence in reliability

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

СЕРЕБРЕННИКОВ Д. С.
Размещение зданий, сооружений и установок на площадках
бурения поисково-оценочных и разведочных скважин нефте-
газовых месторождений с учетом противопожарных норм

35

SEREBRENNIKOV D. S.
Siting of buildings, constructions and installations on drill sites
of prospecting and appraisal and exploration drilling wells
in oil-gas fields based on fire regulations

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ХОЛЩЕВНИКОВ В. В., КУДРИН И. С.
Обеспечение безопасной эвакуации людей с учетом
стохастичности процесса распространения опасных
факторов пожара в высотных зданиях

38

KNOLSHCHEVNIKOV V. V., KUDRIN I. S.
The safe evacuation with consideration of the stochastic
behavior of the spread process
in high-rise buildings

САМОШИН Д. А., ИСТРАТОВ Р. Н.
Оценка уровня противопожарной подготовки сотрудников
медико-реабилитационного учреждения на примере
персонала больниц

52

SAMOSHIN D. A., ISTRATOV R. N.
An evaluation of medical personnel
fire training base on example
of hospital staff

ХОАНГ ТХО ДЫК, КОРОЛЬЧЕНКО А. Я.
Оборудование, применяемое в системах оповещения
и управления эвакуацией

57

HOANG THO DUC, KOROLCHENKO A. Ya.
Equipment, application in warning system
and evacuation management

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ЖАРТОВСКИЙ С. В., НИЖНИК В. В., УХАНСКИЙ Р. В.
Активная противопожарная защита деревянных конструкций
куполов церквей с применением водных огнетушащих веществ

65

ZHARTOVSKIY S. V., NIZHNIK V. V., UKHANSKIY R. V.
Active fire protection of wooden constructions of churches domes
with application of water fire extinguishing substances

ВИНОГРАДОВ А. Г.
Поглощение теплового излучения
водяными завесами. Часть 2

72

VINOGRADOV A. G.
Thermal radiation absorption
by water curtains. Part 2

ДУМИЛИН А. И.
Параметры тушения пламени горючих жидкостей
распыленной водой

85

DUMILIN A. I.
Factors of extinguishing of the flame of combustible liquids
by sprayed water

ВОПРОС – ОТВЕТ

91

QUESTION – ANSWER

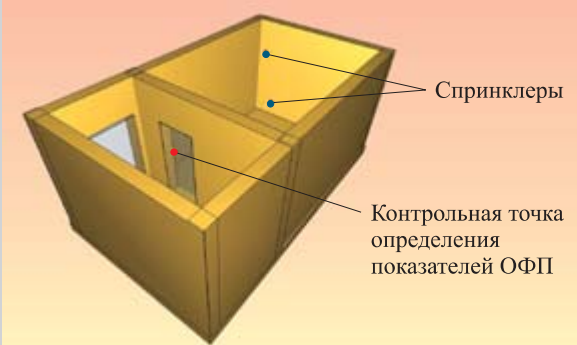
Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". 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.



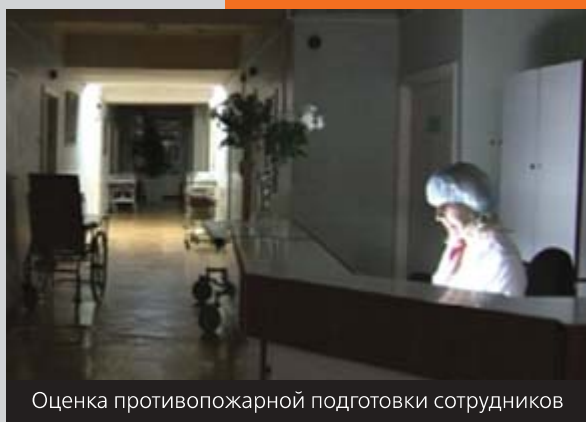
Команда, без которой мне не жить



Огнезащита "БИЗОН" — уверенность в надежности



Учет стохастичности процесса распространения ОФП



Оценка противопожарной подготовки сотрудников



Оборудование, применяемое в СОУЭ

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:

Баратов А. Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

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

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

Кирюханцев Е. Е., к. т. н., профессор (Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н. (Россия)

Лейбман М. Е., заслуженный строитель России,
генерал-полковник запаса (Россия)

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

Ройтман В. М., д. т. н., профессор, академик НАНПБ
и ВАНКБ (Россия)

Сенин Н. И., к. т. н., профессор (Россия)

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

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

Теличенко В. И., д. т. н., профессор, действительный член
РААСН, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

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

Тычино Н. А., д. т. н., член-корреспондент МАНЭБ (Белоруссия)

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, (495) 735-28-03,
(495) 737-65-74, 8-909-940-63-94.
121352, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 10.04.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



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:

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia
Phone/Fax: (495) 228-09-03,
(495) 735-28-03,
(495) 737-65-74,
8-909-940-63-94
E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress
Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

"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 and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database. Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory". 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 10.04.2013
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 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:

Baratov A. N.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

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)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korolchenko D. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Leybman M. Ye.,
Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

Merkulov V. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (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 (Russia)

Senin N. I.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

Puzach C. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Telichenko V. I.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (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)

Tychino N. A.,
Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety (Belarus)

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)

Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)



РЕКЛАМА

Атака на огонь

Поиск и спасение

Определение очагов возгорания

Владение ситуацией

FLIR серии K: портативные тепловизионные камеры для противопожарных подразделений

Каждому пожарному знакома такая ситуация: ты на пути к пожару, задача понятна, проверяешь снаряжение. Как только прибываешь на место, нужно приниматься за работу – атаковать пылающий огонь.

В этот момент ты полагаешься только на своих товарищей и на снаряжение.

В этот момент ты можешь рассчитывать на тепловизионную камеру **FLIR серии K**, которая защитит твою жизнь и поможет тебе спасти жизни других людей.

Тепловизоры **FLIR серии K** специально разработаны для решения самых важных задач при тушении пожаров.



Доступная цена: тепловизор в каждый пожарный автомобиль



Прочные и надежные, выдерживают падение с высоты 2 м



Четкие ИК-изображения



Легко пользоваться, даже в перчатках



Создание простых отчетов в камере



* После регистрации изделия на сайте www.flir.com

FLIR Commercial Systems
e-mail: flir@flir.com

www.flir.com

МЧС РОССИИ

информирует



КОМАНДА, БЕЗ КОТОРОЙ МНЕ НЕ ЖИТЬ

75 лет назад, в непростое для нашей страны время, зародилось позитивное профессиональное движение — пожарно-прикладной спорт. Отточенные действия участников и зрелищность всех этапов многоборья заставляют гордиться подготовкой наших спортсменов. О том, как развивался пожарно-прикладной спорт и что он представляет собой сегодня, рассказывает заместитель Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, генерал-полковник внутренней службы, президент Федерации пожарно-прикладного спорта России **Александр ЧУПРИАН**.

Пожарно-прикладной спорт охватывает всю страну: во многих противопожарных подразделениях созданы условия для тренировок, действуют специальные спорткомплексы, регулярные состязания проводятся на местных, региональных и всероссийском уровнях. Их победители становятся участниками международных турниров. В марте в подмосковном Павловском Посаде прошел XII чемпионат МЧС России и ВДПО по пожарно-прикладному спорту в закрытом помещении.

Александр Петрович, 75 лет для истории пожарно-прикладного спорта — это много или мало?

Первые соревнования проходили в тяжелейшие для страны годы. Спорту пожарных суждено было появиться на свет в 37-м. Наш спорт ценен прежде всего тем, что рожден профессией. Тем, что все элементы взяты из жизни. По сути своей, это же одна из составляющих пожарно-строевой подготовки: сдача нормативов, выполнение приемов и способов подачи оборудования. Принцип прост: чем быстрее и лучше пожарный пройдет все препятствия, тем больше у него останется времени на спасение человеческой жизни. Борьба идет за драгоценные секунды.

Пожарно-прикладной спорт — это многоборье. Наши спортсмены уникальны: по вертикали они бегут быстрее, чем мировые легкоатлеты по горизонтали! При этом им нужно быть в постоянном отрыве и от башни, и от лестницы. Честное слово, это крылатые люди, спортсмены высшей пробы! А почему их движения так легки и красивы? Да потому что за мастерством стоят тысячи часов тренировок на башнях, стометровых дорожках... Или, например, последний этап пожарной эстафеты — тушение горящей жидкости в противне — самая что ни на есть боевая работа. Когда есть море огня, и ты видишь, как спортсмен погрузился в огненное облако, а потом вдруг выныр-

нул целехонек. Это вызывает заслуженный восторг зрителя!

Соревнования по пожарно-прикладному спорту нужно видеть в живую. Каким бы красочным ни был рассказ, он никогда не передаст красоту, динамику и зрелищность этого вида спорта.

Пожарно-прикладной спорт уже давно перешагнул границы нашей страны. Как он развивается на международном уровне?

Существует Международная федерация пожарных и спасателей, где главный вид спорта — пожарно-прикладной. Зародился этот спорт в нашей стране и сейчас активно распространяется по миру. Иран и Турция специально построили стадионы, к нам "пришла" Южная Корея... К слову, следующий чемпионат мира пройдет именно там. Наша сборная конечно же фаворит, но соперники становятся все сильнее. Разумеется, можно порадоваться, когда вперед двигаются наши ближайшие соседи — республики бывшего Союза. И дальше зарубежье — немцы, чехи... не отстают.

А у нас в стране фавориты есть?

Десятка стабильна. Это школа, традиции. Ханты-Мансийский автономный округ, Московская область — извечные наши финалисты. Челябинцы сейчас подтянулись, свердловчане, омичи, питерцы, казанцы... А Татарстан! Это просто клан пожарных, причем тренироваться ребята начинают с раннего детства. На зональных соревнованиях зачеты командам ставят еще и по результатам юношеских групп (три возрастные категории: 12–14, 14–16 и 16–18 лет). Представляете, сколько надо школ обойти, чтобы пригласить толковых ребятшек?! Даже если не все они пройдут в Высшую лигу, все равно останутся в спорте. Пожарный, полная вовлеченность — важнейшая особенность прикладного спорта. Мы проводим чемпионаты и среди школьников, студентов. Год-другой — и парень уже кандидат в мастера или даже мастер, школу за-



канчивают, затем идет в профильный вуз, где тоже масса турниров. Мы движемся глобальным фронтом.

Спорт — это всегда праздник, где на стадионах целые семьи. Это различные выставки пожарной техники. В нем есть гармония, завязанная не только на секунды и медали, но и на профессиональный диалог. Собираются специалисты, смотрят, общаются, обмениваются опытом.

Инновации возможны в прикладном спорте?

Еще раз повторю: здесь каждый этап выверен жизнью. Не могу назвать это консерватизмом, скорее целесообразностью. А если рассуждать в контексте других видов спорта, то в футболе, например, нужен 12-й игрок? Везде есть разумные правила. Мы, скорее, думаем над усилением зрелищности. Например, видоизменяется форма спортсменов. Изначально они бегали в металлических касках, в кирзовых сапогах — обмундирование было крайне тяжелое. А сейчас эволюция! Форма и инвентарь регламентированы, одинаковы для всех. Представляете, раньше даже пуговицы пересчитывали. Работают с облегченными рукавами (ранее были боевые), за исключением боевого развертывания, где подают воду. Кроме того, у нас существует допинг-контроль, который проходят все победители, да и выборочно могут взять пробы. Все как на Олимпиаде.

А как же девушки?

Да, в нашем спорте уже появились девчонки. Конечно, техника у них совершенно другая, не легкоатлетическая... Знаете, горжусь, что в пожарно-прикладном спорте мужики настоящие. Но, как и многие виды спорта, наш спорт уже попал под женское влияние. Я, например, категорический противник женского бокса, штанги. Ну, это же антиприродно, с моей точки зрения. Или смотрю на женский футбол: и нравится, и не нравится. Один раз даже играл, но сам себе сказал: в жизни никогда не буду сражаться против женщин! А в пожарно-прикладном спорте, благодаря девушкам, может активнее развиваться международная составляющая, и дисциплины прибавится, и ответственности.

Каково состояние спортивных тренировочных баз?

У нас есть зимние манежи, которые используются не только для пожарно-прикладного спорта, но и для сдачи нормативов. Сейчас мы впервые раздали на всероссийском итоговом сборе рейтинги

команд. И теперь, в какой главк я ни приезжаю, спрашиваю: "Назови мне свой номер". В десятке быть — это надо совершить подвиг. Но я считаю, что тем, кто в 40-ку входит, — "зачет", а вторая половина — вот уж совсем плохо. Остальные у меня уже "на карандаше". Почему? Это означает, что профессиональная подготовка на низком уровне, начиная с пожарных нормативов. Нужно в комплексе разбираться: может, тренироваться негде.

Расскажите, пожалуйста, о тренерском составе.

Все наши спортсмены и тренеры — люди бесконечно увлеченные. Династию Калининых возьмите: Андрей Калинин возглавляет ЦСК МЧС России. Его отец, Калинин-старший, — тренер сборной, а младший брат — действующий атлет. Все они мастера спорта международного класса. Такое надо приветствовать! Преемственность, молодая смена должны готовиться всегда, во всем, а не только в спорте.

Материальное поощрение для атлетов существует?

Главная задача Федерации пожарно-прикладного спорта — подготовить сборную России. Представители Федерации в разных отделениях работают с каждым главком: подбирают тренеров, вникают во все детали — одним словом, воспитывают современное поколение спортсменов.

Разумеется, нет такого вознаграждения, которое махом бы решило все проблемы. Спортсмены могут получить премиальные в 100 тысяч или, например, вся команда — поощрение на 500 тысяч. И спонсоры у нас есть, мы им благодарны. Рекорды так просто не ставятся: за ними кропотливый тренировочный процесс, сборы, затем — восстановление. Не так давно с нашей сборной начали работать психологи МЧС России. Это также способствует восстановлению спортсменов, поддержанию их духа.

На успех программируете?

Победа наших спортсменов — это всегда коллективный труд. Всегда приятно отмечать отличную работу каждого члена команды, понимая, что в этой победе есть частица и твоего труда.

Я служу в министерстве, которое знает цену победы. Все построено на том, что наша жизнь — это соревнование, верно? Пока еще короткая, но при этом чрезвычайно насыщенная событиями биография МЧС доказала, что наше министерство — это Министерство победы. Почему? Во-первых, организовали его люди с четкими гражданскими позициями, глубоко любящие свое Отечество, осознающие, что нет ничего более святого, чем оказать помощь ближнему. Люди, способные искренне сопереживать чувству утраты, потому что спасатель не в силах помочь сразу всем. Можем ли мы быть середнячками? По определению — нет! Если в борьбе существует 1-е место, то оно будет нашим. Амбиции есть у всех, но не каждый коллектив способен стать командой победителей. Уверен, спорт — это очень важная составляющая нашего чрезвычайного ведомства.

Екатерина Алексеева

XII межрегиональная специализированная выставка

ЭНЕРГЕТИКА ДВ РЕГИОНА – 2013 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Производство • Транспортировка
Альтернатива • ЖКХ

Тел./факс: (4212) 56-76-14 E-mail: pte@khabexpo.ru

ЛЕГКОАТЛЕТИЧЕСКИЙ МАНЕЖ СТАДИОНА ИМ. В.И. ЛЕНИНА

IV специализированная выставка

АВТОМАТИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СВЯЗЬ – 2013

Системы автоматизации, связи
и безопасности • IT-технологии

Тел./факс: (4212) 56-76-50, E-mail: dvhim@khabexpo.ru; comp@khabexpo.ru



Е. А. НАХТИГАЛЬ, член-корреспондент ВАНКБ, Университет г. Вупперталь
(D-42097 Wuppertal, Germany; e-mail: nachtigall@uni-wuppertal.de)

УДК 614.841/.849

РАССМОТРЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТОДАМИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Пожарная безопасность рассмотрена с точки зрения системного анализа. Приведены и рассмотрены важные системные свойства пожарной безопасности. Представлены преимущества предлагаемого подхода для понимания пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность; системный анализ; системный подход.

Экономическое значение пожаров

Несмотря на достижения в области противопожарной защиты, сказывающейся в снижении числа жертв при пожарах, в большинстве стран Европы и России, финансовые затраты и другие ресурсы для достижения желаемого уровня пожарной безопасности по-прежнему ежегодно повышаются [1]. Так, например, в России согласно статистике МЧС за 2011 г. только прямой материальный ущерб от пожаров составил более 18 млрд. рублей. При этом прямой материальный годовой ущерб от пожаров более чем удвоился с 2007 г. [2].

Системный подход к пожарной безопасности

Для решения сложных задач, таких как пожарная безопасность, имеется универсальная методика на основе системного подхода и системного анализа [3–5]. Универсальность данного системного подхода позволяет рассматривать пожарную безопасность как систему и принимать на основе этого понимания улучшающие действия.

Безусловно, процесс достижения желаемого уровня пожарной безопасности является сложной задачей на будущее, которая в данный момент не решена удовлетворительно. Об этом свидетельствуют многочисленные трагедии при пожарах недавнего времени. Именно поэтому сегодня как никогда следует обратиться к универсальному системному и комплексному подходу для разрешения ряда задач, связанных с пожарной безопасностью [6].

Для рассмотрения пожарной безопасности с позиций системного подхода применим методологию прикладного системного анализа, описанного Ф. П. Тарасенко в работе [5].

Системный анализ пожарной безопасности

Согласно системному подходу следует сначала понять, почему пожарную безопасность можно рас-

сматривать как систему. Для этого рассмотрим категории свойств этой системы, которые можно разделить на статические, динамические и синтетические (см. рисунок).



Категории свойств системы пожарной безопасности

Статические свойства пожарной безопасности

Под статическими свойствами систем понимают конкретные состояния системы в любой, но фиксированный момент времени. Среди статических свойств этой системы можно выделить:

- целостность;
- открытость;
- внутреннюю неоднородность;
- структурированность.

Целостность системы пожарной безопасности, как одно из статических свойств, означает, что пожарную безопасность нужно понимать как единое и целое, отличающееся от других систем, в том числе и систем безопасности.

Под открытостью системы понимают ее взаимодействие с другими системами или окружающей средой посредством входов и выходов. В случае системы пожарной безопасности это, например, многообразные входы со стороны использования данного объекта или правовые акты, влияющие на ее

состояние, или выходы в виде влияния на экологию или финансовый успех одной взятой организации или всей экономики.

Система пожарной безопасности неоднородна, т. е. имеет элементы самого различного характера, как, например, технические системы пожарной защиты, люди и организации, задействованные до и вовремя пожара, система нормативных и правовых предписаний и т. д.

Система пожарной безопасности имеет также свою структурированность, которая выражается в различных взаимосвязях между элементами системы. Эта структурированность и создает целостность всей системы пожарной безопасности.

Динамические свойства пожарной безопасности

Помимо статических свойств, система пожарной безопасности имеет и динамические свойства, т. е. такие свойства, которые меняются во времени и в связи с другими меняющимися обстоятельствами. К динамическим свойствам относят:

- функциональность;
- стимулируемость;
- изменчивость во времени;
- существование в изменяющейся среде.

Система пожарной безопасности направлена на выполнение множества функций, таких как, например, обеспечение безопасности людей, покидающих здание во время пожара, или уменьшение вреда от пожара, причиненного соседним зданиям и окружающей среде. Функциональность системы пожарной безопасности направлена на выходы системы как функция времени.

Стимулируемость рассматриваемой системы определяет воздействия на систему со стороны входов извне также как функцию времени. Конкретно — это, например, изменение поведения людей при пожарах в зависимости от состояния их здоровья и противопожарной подготовленности, на которое влияют другие многочисленные системы.

Изменчивость системы во времени и скорость изменения, ее динамику легко показать на примере статистики пожаров [1, 2]. Причем можно и нужно рассматривать при этом не только количественные изменения, но и их качественные показатели. Время играет большую роль не только в историческом анализе пожаров, но и во время отдельно взятых пожаров. Динамика изменений во время пожаров поражает зачастую даже профессионалов и ставит перед ними многочисленные и высокосложные задачи.

Не только система пожарной безопасности изменяется во времени. Одновременно и окружающая среда этой системы, и взаимосвязанные системы изменяются, влияя в свою очередь на систему по-

жарной безопасности. Так, например, политические, экономические и другие изменения в России в 90-е годы прошлого столетия резко негативно повлияли на пожарную безопасность, что можно показать на статистике пожаров этого периода.

Синтетические свойства пожарной безопасности

Особенности свойств системы пожарной безопасности, как и других систем, не ограничиваются статическими и динамическими свойствами. Существуют также и синтетические свойства, к которым относят:

- эмерджентность;
- неразделимость на части;
- ингерентность;
- целесообразность.

Эмерджентность означает, что свойства системы не могут быть объяснены через отдельно взятые элементы с их свойствами. Свойство эмерджентности, как никакое другое, проявляется в системе пожарной безопасности. Например, отдельно взятую автоматическую систему пожаротушения с ее свойствами нецелесообразно рассматривать отдельно от других технических и человеко-машинных систем для обеспечения комплексной безопасности здания. Такое рассмотрение возможно и необходимо осуществлять с помощью комплексного подхода, применяя серию стандартов ГОСТ Р 53195 “Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем” [7].

Неразделимость на части для системы пожарной безопасности конкретно означает, что при реализации только отдельных частей (элементов) системы как таковой не будет, она может оказаться другой или будет выполнять цели пожарной безопасности в недостаточной мере. Примером тому является халатное отношение к пожарной безопасности ответственных лиц на отдельно взятом объекте. Даже при полной реализации других мер в общей системе пожарной безопасности сильное ослабление одного элемента, а именно халатное отношение ответственных лиц и, как следствие, их неправильные действия, в общем случае приводит к недопустимым недостаткам всей системы.

Неразделимость системы связана и с ее другим свойством, называемым ингерентностью. Ингерентность обозначает приспособленность системы к окружающей среде. Так, система пожарной безопасности отдельно взятого здания может и должна быть создана так, чтобы быть достаточно неуязвимой и при других форс-мажорных обстоятельствах, таких как, например, продолжительное отсутствие электроснабжения или землетрясение. Это важное свойство связано с так называемым гомеостатом систем.

Под этим понимается способность системы сохранять постоянство своего состояния при помощи скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия [8].

Целесообразность системы пожарной безопасности, как свойство, и в других системах, создаваемых человеком, очевидна. Данное свойство присуще всем искусственным системам. Оно в основном и определяет выбор элементов и структуру системы в целом.

Выводы

Подводя итоги применения методологии системного анализа для рассмотрения пожарной безопасности, можно с уверенностью сказать, что пожарную безопасность следует рассматривать именно как систему методами, подходящими для этого. Только понимание пожарной безопасности как системы со статическими, динамическими и синтетическими свойствами позволит понимать эту систему и учитывать ее в общей системе комплексной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. — М. : ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году // Статистика пожаров и их последствий : статистический сборник. — М. : МЧС России, 2012.
3. Артюхов В. В. Общая теория систем. Самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы. — М. : Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009.
4. Урманцев Ю. А. Общая теория систем: Состояние, приложения и перспективы развития. URL : <http://www.sci.aha.ru> (дата обращения: январь 2013 г.).
5. Тарасенко Ф. П. Прикладной системный анализ — Наука и искусство решения проблем. — Томск : Изд-во Томского университета, 2004. — 186 с.
6. Овчинников Ю. Г. Комплексная безопасность // Глобальная Безопасность. Специальный выпуск. — М., 2012. — С. 20–22.
7. ГОСТ Р 53195. Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем. Части 1–5. — М. : Стандартинформ, 2008–2010.
8. Волков А. А. Гомеостат зданий и сооружений. URL : <http://www.cbgnnews.ru/ekspluataczija/stati/gomeostat-zdaniy-i-sooruzhenij.html> (дата обращения: январь 2013 г.).

Материал поступил в редакцию 5 февраля 2013 г.

English

SYSTEMS ANALYSIS METHODS FOR CONSIDERATION OF FIRE SAFETY

Nachtigall E., Corresponding Member of the WASCS, University of Wuppertal (D-42097 Wuppertal, Germany; e-mail address: nachtigall@uni-wuppertal.de)

ABSTRACT

In article economically important fire safety is considered from the point of view of the systems analysis. Important system properties of fire safety are provided and considered on examples. The considered system properties of fire safety are subdivided on static, dynamic and synthetic. Among static properties there are integrity, openness, internal heterogeneity of system, and structure. As static properties of systems understand concrete conditions of system in any, but fixed moment of time. The dynamic properties include functionality, driven by the variability of the system in time and existence in a changing environment. Dynamic properties are those properties that vary over time and in relation to other changing circumstances. Synthetic properties are defined by emergence, inseparability on parts, inherency, and usefulness of systems. Advantages of an offered approach to understanding of fire safety including its contribution to complex safety are presented.

Keywords: fire safety; systems analysis; systems approach.

REFERENCES

1. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and Fires]. Moscow, IPC Maska Ltd. Publ., 2007. 142 p.
2. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2011 godu. Statistika pozharov i ikh posledstviya. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in the 2011 statistics of fires and their impacts. Statistical Yearbook]. Moscow, Russian Emergency Ministry, 2012.
3. Artyukhov V. V. Obshchaya teoriya system. *Samoorganizatsiya, ustoychivost, raznoobraziye, krizisy* [General system theory: Self-organization, stability, diversity, crises]. Moscow, Knizhnyy dom LIBROKOM Publ., 2009.
4. Urmantsev Yu. A. *Obshchaya teoriya sistem: Sostoyaniye, prilozheniya i perspektivy razvitiya* [General Systems Theory — Status, application and development prospects]. Available at: <http://www.sci.aha.ru> (accessed January 2013).
5. Tarasenko F. P. *Prikladnoy sistemnyy analiz — Nauka i iskusstvo resheniya problem* [Applied Systems Analysis — The science and art of solving problems]. Tomsk, University of Tomsk Publ., 2004. 186 p.
6. Ovchinnikov Yu. G. Kompleksnaya bezopasnost [Complex Security]. *Globalnaya Bezopasnost — Global Security and Security*, 2012, special issue, pp. 20–22.
7. GOST R 53195. *Functional safety of building/erection safety-related systems*. Parts 1–5. Moscow, Standartinform Publ., 2008–2010.
8. Volkov A. A. *Goemostat zdaniy i sooruzheniy* [Homeostat of buildings and constructions]. Available at: <http://www.cbgnnews.ru/ekspluatatsiya/stati/gomeostat-zdaniy-i-sooruzhenij.html> (accessed January 2013).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие
 / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —
 М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

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

В. В. СМЕРНОВ, аспирант научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН, преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: s_vitaly2006@list.ru)

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, эксперт ООО “ПРОМЕТ”, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России, заведующий кафедрой химии Уральской государственной сельскохозяйственной академии (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42; e-mail: NMBarbin@yandex.ru)

Л. О. ЖИВОТИНСКАЯ, научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: milamail@bk.ru)

УДК 614.841.41:547-302

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. IX. ХЛОРАЛКАНЫ

Найдены эмпирические формулы для определения физико-химических и пожароопасных свойств хлоралканов. Показано применение правила углеродной цепи для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств на примере хлоралканов.

Ключевые слова: хлоралкан; правило; свойство; пожарная опасность; показатель.

В рамках начатого нами исследования [1–8] по изучению взаимосвязи *химическое строение – пожароопасные свойства* в этой работе представлены результаты исследований органических соединений, относящихся к классу хлоралканов, имеющих общую формулу (I):



Исходные данные для исследования взяты из электронных баз данных и справочной литературы [9–13]. В табл. 1 приведены показатели пожарной опасности и физико-химических свойств хлоралканов линейного строения.

Линейная зависимость температуры вспышки $t_{всп}$ (°C) от температуры кипения $t_{кип}$ (°C) часто используется в прогнозировании пожароопасных свойств химических соединений. В частности, для класса алкилхлоридов для определения температуры вспышки предложено линейное уравнение [14, 15]:

$$t_{всп} = 0,631t_{кип} - 55,70. \quad (1)$$

На основании данных табл. 1 нами уточнено уравнение (1) и выведены новые значения эмпирических коэффициентов a (0,630) и b (57,53). Установлено также, что формула (1) работает в диапазоне от C_1 до C_{18} и может использоваться для прогнозирования температуры вспышки хлоралканов линейного и изомерного строения.

Информация по нижним концентрационным пределам воспламенения для хлоралканов (IX)–(XIX)

в справочной литературе отсутствует. Однако уравнение Монахова (2) [12, 16] позволяет с достаточной степенью точности предсказывать значения нижнего концентрационного предела воспламенения в гомологическом ряду хлоралканов, за исключением первых двух его членов. Поэтому с его помощью рассчитаны недостающие данные для соединений (IX)–(XIX):

$$C_H = \frac{100}{8,684\beta + 4,679}, \quad (2)$$

где β — коэффициент перед кислородом в реакции горения; $\beta = N_C + (N_H - N_{Cl})/4$;

N_i — число атомов i -го элемента в молекуле.

В результате обработки данных табл. 1 с помощью программных пакетов “MS Excel” и “Table-Curve 2D” (версия 5.01) выведены эмпирические уравнения (3)–(12), которые удовлетворительно описывают зависимости температур кипения $T_{кип}$ (K) и вспышки $T_{всп}$ (K), показателя преломления n_D от числа атомов углерода N_C , коэффициента β и стехиометрической концентрации в сухом воздухе $C_{стх}$ ($C_{стх} = 100/(1 + 4,76\beta)$) для алкилхлоридов линейного строения. Найдены также уравнение (13), связывающее температуру вспышки соединений (I) с температурой кипения $T_{кип}$ и числом атомов углерода N_C , и формула (14), описывающая взаимосвязь теплоты парообразования $H_{пар}$ и числа атомов углерода N_C (табл. 2). Прогноз, полученный из решения уравнений (1)–(14) для алкилхлоридов (II)–(XIX),

Таблица 1. Справочные [9–12] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства линейных алкилхлоридов

Хлоралкан	Номер соединения (ОУЦ) ¹	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			C_H , % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	
CH_3Cl	II (1)	20,1; 20,9	1,3389; 1,339 1,338	249; 254; 248	207; 202; 208; 202 ²	905; 898	8,1; 7,6; 5,6 ³ ; 7,3
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	III (2)	25,3; 25,5; 23,7 ⁴	1,3676; 1,368; 1,367; 1,364 ⁴	285; 287; 285; 284 ⁴	223; 223; 221; 223; 225 ² ; 225 ⁴	792; 783; 847 ⁴	3,6; 3,8; 3,3 ³ ; 3,7
$\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$	IV (3)	27,2; 29,0; 29,3 ⁴	1,3888; 1,389; 1,388; 1,385 ⁴	319; 318; 319; 320; 318 ⁴	241; 244; 244; 243; 245; 246 ² ; 241 ⁴	793; 760 ⁴	2,6; 2,4; 2,3 ³ ; 2,4; 2,8 ⁴
$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$	V (4)	33,2; 31,9; 32,7 ⁴	1,402; 1,403; 1,404; 1,401 ⁴	351; 349; 351; 350 ⁴	256; 261; 264; 261; 266 ² ; 262 ⁴	553; 733; 663 ⁴	1,8; 1,9; 1,8 ³ ; 1,8; 2,0 ⁴
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$	VI (5)	38,1; 34,5; 35,8 ⁴	1,4128; 1,413; 1,414; 1,413 ⁴	380; 381; 377; 378; 380; 379 ⁴	276; 286; 285; 282; 284; 281; 285 ² ; 280 ⁴	493; 533; 619 ⁴	1,4; 1,6; 1,4 ³ ; 1,4; 1,5 ⁴
$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Cl}$	VII (6)	38,4; 36,8; 38,6 ⁴	1,4236; 1,421; 1,419 ⁴	367; 408; 405; 405; 407; 406 ⁴	300; 301; 300; 302; 302 ² ; 300 ⁴	498; 513; 507 ⁴	1,0; 1,2; 1,2 ³ ; 1,2; 1,3 ⁴
$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{Cl}$	VIII (7)	39,0; 39,3 ⁴	1,4264; 1,425; 1,426; 1,427; 1,427 ⁴	432; 430; 432; 431 ⁴	315; 325; 311; 316; 318; 317; 317 ² ; 317 ⁴	493; 508; 501 ⁴	1,0; 1,0 ³ ; 1,0; 1,0 ⁴
$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{Cl}$	IX (8)	40,1; 41,0; 40,6 ⁴	1,4309; 1,43; 1,431; 1,430 ⁴	455; 456; 455; 454 ⁴	331; 335; 334; 331; 333; 334; 332 ² ; 331 ⁴	503; 493; 495; 494 ⁴	0,9 ³ ; 0,9; 0,9 ⁴
$\text{C}_9\text{H}_{19}\text{Cl}$	X (9)	42,2; 42,9; 42,2 ⁴	1,4343; 1,436; 1,435; 1,434 ⁴	476; 478; 477; 478; 477; 478 ⁴	347; 351; 346; 345; 346 ² ; 345 ⁴	488; 489 ⁴	0,8 ³ ; 0,8; 0,8 ⁴

Хлоралкан	Номер соединения (ОУЦ) ¹	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			C_H , % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	
$C_{10}H_{21}Cl$	XI (10)	44,2; 44,7; 44,3 ⁴	1,438; 1,4379; 1,437; 1,438; 1,438 ⁴	496; 495; 499; 496; 496 ⁴	356; 358; 357; 359; 357 ² ; 359 ⁴	473; 488; 486 ⁴	0,7 ³ ; 0,7; 0,8 ⁴
$C_{11}H_{23}Cl$	XII (11)	46,4; 46,0 ⁴	1,44; 1,441; 1,440 ⁴	515; 519; 515; 514 ⁴	369; 367; 368; 370 ² ; 369 ⁴	484 ⁴	0,7 ³ ; 0,7; 0,7 ⁴
$C_{12}H_{25}Cl$	XIII (12)	47,8; 48,0; 48,0 ⁴	1,4434; 1,443; 1,443; 1,444 ⁴	516 ; 533; 538; 533; 533 ⁴	403 ; 377; 386; 380; 376; 375; 381 ² ; 378 ⁴	463; 513 ; 484 ⁴	0,6 ³ ; 0,6; 0,7 ⁴
$C_{13}H_{27}Cl$	XIV (13)	49,5; 49,5 ⁴	1,445; 1,445 ⁴	550; 555; 550; 542 ⁴	389; 386; 382; 392 ² ; 388 ⁴	483 ⁴	0,6 ³ ; 0,6; 0,6 ⁴
$C_{14}H_{29}Cl$	XV (14)	51,1; 51,0; 51,0 ⁴	1,4474; 1,446; 1,447; 1,447 ⁴	568; 571; 566; 566 ⁴	395; 382 ; 397; 396; 390; 403; 403 ² ; 392 ⁴	503; 494 ⁴	0,5 ³ ; 0,5; 0,6 ⁴
$C_{15}H_{31}Cl$	XVI (15)	52,5; 52,6 ⁴	1,448; 1,448 ⁴	581; 585; 582 ⁴	397; 396; 390; 403; 403 ² ; 402 ⁴	504 ⁴	0,5 ³ ; 0,5; 0,5 ⁴
$C_{16}H_{33}Cl$	XVII (16)	54,1; 53,9; 53,9 ⁴	1,4503; 1,449; 1,449; 1,450; 1,451 ⁴	595; 598; 597; 595 ⁴	428 ; 409; 409; 419; 411; 420 ² ; 418 ⁴	493; 518; 524 ⁴	0,5 ³ ; 0,5; 0,5 ⁴
$C_{17}H_{35}Cl$	XVIII (17)	55,2; 55,3 ⁴	1,451; 1,451 ⁴	608; 609; 610; 612; 612 ⁴	414; 434; 429; 427; 428 ² ; 433 ⁴	543 ⁴	0,4 ³ ; 0,5; 0,5 ⁴
$C_{18}H_{37}Cl$	XIX (18)	56,5	1,4524; 1,451; 1,452	629; 619; 620; 628	383 ; 457; 453; 455; 440; 442 ²	593	0,4 ³ ; 0,4

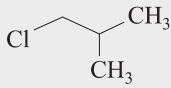
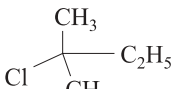
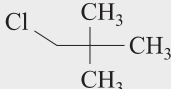
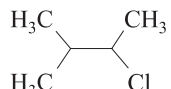
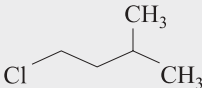
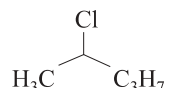
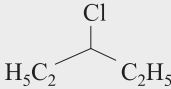
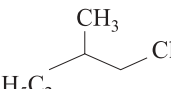
Примечания: ¹ ОУЦ — основная углеродная цепь. Для линейных галогеналканов она равна числу атомов углерода в молекуле. ^{2,3,4} Расчетные данные, полученные соответственно по уравнениям (1), (2) и правилу углеродной цепи.

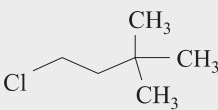
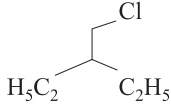
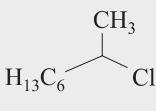
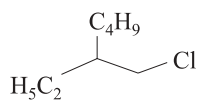
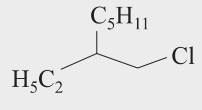
Таблица 2. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств алкилхлоридов

Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
Температура кипения, К	$T_{\text{кип}} = -0,716N_C^2 + 35,078N_C + 220$	3	0,9989	$1 \leq N_C \leq 18$
Показатель преломления	$n_D = 1,4736 - \frac{0,5079}{N_C} + \frac{0,5276}{N_C^{1,5}} - \frac{0,1544}{N_C^2}$	4	0,9989	$1 \leq N_C \leq 18$
Температура вспышки, К	$T_{\text{всп}} = 24,03N_C - 0,595N_C^2 + 177$	5	0,9954	$2 \leq N_C \leq 17$
Нижний концентрационный предел, % об.	$C_H = 0,045N_C^{0,5} + \frac{8}{N_C} - \frac{0,59}{N_C^{1,5}} - 0,2$	6	0,9960	$1 \leq N_C \leq 18$
Температура кипения, К	$T_{\text{кип}} = -0,3184\beta^2 + 23,386\beta + 220$	7	0,9989	$1 \leq N_C \leq 18$
Показатель преломления	$n_D = 1,489 - \frac{0,166}{\beta^{0,5}} - \frac{0,134}{\beta} + \frac{0,169}{\beta^2}$	8	0,9989	$1 \leq N_C \leq 18$
Температура вспышки, К	$T_{\text{всп}} = 189 + 7,72\beta^{1,5} - 0,632\beta^{2,5} + 0,08\beta^3$	9	0,9938	$1 \leq N_C \leq 18$
Температура кипения, К	$T_{\text{кип}} = 202,3 + \frac{590,34}{C_{\text{ctx}}} - \frac{320,01}{C_{\text{ctx}}^2} + \frac{90,92}{C_{\text{ctx}}^3}$	10	0,9999	$1 \leq N_C \leq 18$
Показатель преломления	$n_D = 1,555 + 0,012C_{\text{ctx}} - 0,104C_{\text{ctx}}^{0,5} - 0,045\exp(-C_{\text{ctx}})$	11	0,9989	$1 \leq N_C \leq 18$
Температура вспышки, К	$T_{\text{всп}} = 198,5 + \frac{64,99}{C_{\text{ctx}}} + \frac{774,8}{C_{\text{ctx}}^2} - \frac{1093,01}{C_{\text{ctx}}^3} + \frac{443,29}{C_{\text{ctx}}^4}$	12	0,9963	$2 \leq N_C \leq 18$
Температура вспышки, К	$T_{\text{всп}} = -0,83N_C + 0,67T_{\text{кип}} + 34$	13	0,9920	$1 \leq N_C \leq 18$
Теплота парообразования, кДж/моль	$H_{\text{пар}} = 9,93 + 10,984N_C^{0,5}$	14	0,9940	$1 \leq N_C \leq 16$

Таблица 3. Справочные [9–12] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства хлоралканов изомерного строения

Структурная формула (брутто-формула)	Номер хлоралкана (УУЦ)	$H_{\text{пар}},$ кДж/моль	n_D	Температура, К			$C_H, \%$ (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$ $(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl})$	XX (2,5)	27,0; 27,3; 26,3 ¹	1,379; 1,378 ¹	309; 303; 302 ¹	238; 233; 232; 239; 240 ² ; 233 ¹	866; 790 ¹	2,8; 2,7 ³ ; 2,9; 3,1 ¹
$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl})$	XXI (3)	27,6; 29,0; 29,3 ¹	1,3853; 1,389; 1,388 1,385 ¹	324; 325; 319; 320; 318 ¹	301 ; 250; 244; 243; 241; 249; 249 ² ; 250 ² ; 241 ¹	813; 760 ¹	1,8; 2,3 ³ ; 2,4; 2,5; 2,8 ¹
$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl})$	XXII (3,5)	28,2; 30,5; 31,0 ¹	1,3953; 1,3966; 1,396; 1,397; 1,393 ¹	341; 342; 343; 334; 336; 334 ¹	263; 252; 258; 254; 251; 260; 260 ² ; 261 ² ; 252 ¹	733; 758; 712 ¹	2,0; 1,7; 2,0 ³ ; 2,1; 2,4 ¹

Структурная формула (брутто-формула)	Номер хлор- алкана (УУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			C_H , % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	
 (C ₄ H ₉ Cl)	XXIII (3,5)	29,2; 30,5; 31,0 ¹	1,4; 1,396; 1,397; 1,393 ¹	341; 342; 334; 336; 334 ¹	256; 254; 254; 251; 260; 260 ² ; 261 ² ; 252 ¹	668; 712 ¹	2,0; 2,0 ³ ; 2,1; 2,4 ¹
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXIV (4)	33,91; 31,9; 32,7 ¹	1,4055; 1,403; 1,403; 1,404; 1,401 ¹	356; 359; 351; 350 ¹	276; 263; 264; 261; 269; 271; 270 ² ; 271 ² ; 262 ¹	613; 633 ¹	1,5; 1,8 ³ ; 1,8; 1,9; 2,0 ⁴
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXV (4)	31,4; 31,9; 32,7 ¹	1,4044; 1,403; 1,404; 1,401 ¹	357; 358; 349; 351; 350 ¹	264; 264; 261; 270; 271; 270 ² ; 271 ² ; 262 ¹	727; 633 ¹	1,8 ³ ; 1,8; 1,9; 2,0 ⁴
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXVI (4)	31,9; 32,7 ¹	1,4059; 1,403; 1,404; 1,401 ¹	365 ; 349; 351; 350 ¹	264; 261; 275; 275 ² ; 262 ¹	633 ¹	1,8 ³ ; 1,8; 1,9; 2,0 ⁴
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXVII (4,5)	36,8; 33,2; 34,3 ¹	1,4103; 1,408; 1,409; 1,407 ¹	372; 363; 366; 365 ¹	283; 273; 274; 271; 280; 280 ² ; 271 ¹	641 ¹	1,6 ³ ; 1,6; 1,8 ¹
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXVIII (4,5)	32,37; 33,2; 34,3 ¹	1,4068; 1,408; 1,409; 1,407 ¹	379 ; 368; 363; 366; 365 ¹	274; 273; 274; 271; 280; 280 ² ; 277 ² ; 271 ¹	641 ¹	1,6 ³ ; 1,6; 1,8 ¹
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXIX (4,5)	32,4; 33,2; 34,3 ¹	1,4082; 1,408; 1,409; 1,407 ¹	370; 363; 366; 365 ¹	283; 273; 274; 271; 278; 278 ² ; 271 ¹	641 ¹	1,6 ³ ; 1,6; 1,8 ¹
 (C ₅ H ₁₁ Cl)	XXX (4,5)	33,2; 34,3 ¹	1,4102; 1,408; 1,409; 1,407 ¹	373; 363; 366; 365 ¹	273; 274; 271; 280; 280 ² ; 271 ¹	641 ¹	1,6 ³ ; 1,6; 1,8 ¹

Структурная формула (брутто-формула)	Номер хлор- алкана (УУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			C_H , % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	
 $(C_6H_{13}Cl)$	XXXI (5)	34,5; 35,8 ¹	1,42; 1,413; 1,414; 1,413 ¹	386; 391; 377; 378; 380; 379 ¹	280; 292; 282; 284; 281; 288; 292; 288 ² ; 292 ² ; 280 ¹	619 ¹	1,4 ³ ; 1,4; 1,5 ¹
 $(C_6H_{13}Cl)$	XXXII (5,5)	39,3; 35,7; 37,2 ¹	1,423; 1,417; 1,417; 1,416 ¹	401; 391; 394; 393 ¹	291; 293; 298; 298 ² ; 290 ¹	568 ¹	1,3 ³ ; 1,3; 1,4 ¹
 $(C_8H_{17}Cl)$	XXXIII (7,5)	40,0; 40,0 ¹	1,4273; 1,429; 1,429 ¹	445; 443; 444; 443 ¹	324; 326; 326 ² ; 324 ¹	498 ¹	1,0 ³ ; 1,0; 1,0 ¹
 $(C_8H_{17}Cl)$	XXXIV (7,5)	40,0; 40,0 ¹	1,429; 1,429 ¹	446; 443; 444; 443 ¹	333; 324; 326; 327; 326 ² ; 324 ¹	498 ¹	1,0 ³ ; 1,0; 1,0 ¹
 $(C_9H_{19}Cl)$	XXXV (8,5)	42,0; 41,4 ¹	1,4321; 1,433; 1,432 ¹	445; 447; 466; 466 ¹	325; 333; 338; 339; 341; 325; 326; 326 ² ; 327 ² ; 338 ¹	492 ¹	0,9 ³ ; 0,8; 0,9 ¹

^{1, 2, 3} Прогноз, полученный соответственно по правилу углеродной цепи и по уравнениям (1) и (2).

представлен в табл. 1 курсивом. Установлено, что правило углеродной цепи, описанное нами в предыдущих работах [1–8], удовлетворительно работает в гомологическом ряду хлоралканов (см. табл. 1).

Отметим, что формулы (1)–(14) позволяют не только прогнозировать показатели пожароопасных и физико-химических свойств хлоралканов, но и выявлять сомнительные литературные данные по показателям пожаровзрывоопасности (выделены в табл. 1 и 3 жирным шрифтом), которые обусловлены не только опечатками или ошибками эксперимента, но и приборными различиями в методах определения этих показателей. Например, для температуры вспышки нормируемая ошибка эксперимента в зависимости от метода и объекта испытаний составляет от 0,5 до 17,8 °C (K) [17]. Было даже предложено уравнение (15) для приведения температуры

вспышки, определенной по методу Setaflash, к значению температуры вспышки по методу Пенски–Мартенса [18]:

$$PM = 1,05SF - 17,33 \quad (r^2 = 0,9992), \quad (15)$$

где PM — температура вспышки по методу Пенски–Мартенса, К;

SF — температура вспышки по методу Setaflash, К.

Информации по пожароопасным свойствам алкилхлоридов изомерного строения немного (см. табл. 3). В табл. 3 также приведен прогноз по ряду показателей для этих соединений, полученный по правилу углеродной цепи и уравнениям (1)–(14). При этом в формулах (3)–(6), (13) и (14) вместо N_C ставились значения условной углеродной цепи (УУЦ) [1–4], а в уравнениях (7)–(12) — псевдокоэффициент β и псевдостехиометрическая концентрация, опреде-

ляемая через β : $\beta = \text{УУЦ} + (2\text{УУЦ} + 1 - N_{\text{Cl}})/4$. Дефицит данных по физико-химическим и пожароопасным свойствам хлоралканов изомерного строения не позволяет проследить действие ранее обнаруженного эффекта функциональной группы в ряду хлоралканов [2–8, 19].

В заключение отметим, что найденные эмпирические формулы и правило углеродной цепи могут быть использованы для прогнозирования неизвестных показателей физико-химических и пожароопасных свойств в ряду хлоралканов как нормального, так и изомерного строения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
2. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
3. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
4. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
5. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.
6. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
7. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
8. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
9. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 10.04.2012 г.).
10. База данных университета Akron. URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/> (дата обращения: 12.04.2012 г.).
11. Chemical Database DIPPR 801 (Brigham Young University). URL : <http://www.aiche.org/dippr/> (дата обращения: 21.04.2012 г.).
12. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2-х ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. Ч. 1. — 713 с.; ч. 2. — 774 с.
13. Болотников М. Ф., Неручев Ю. А. Температуры плавления и кипения соединений в гомологических рядах моногалоген-*n*-алканов // Журнал физической химии. — 2007. — Т. 81, № 8. — С. 1364–1369.
14. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. Доступ из сб. НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
15. Шебеко Ю. Н., Навценя В. Ю., Копылов С. Н., Гориков И. А., Корольченко И. А., Полетаев А. Н., Полетаев Н. Л., Васина О. В., Вережкин В. Н., Белов С. Г. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов : руководство — М. : ВНИИПО, 2002. — 77 с.
16. Корольченко А. Я., Шебеко Ю. Н., Иванов А. В. Расчет нижнего концентрационного предела воспламенения индивидуальных веществ // Обзорная информация. Сер.: Пожарная безопасность. — М. : ВНИИПО, 1981. — Вып. 4. — 33 с.
17. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.
18. Rowley J. Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — P. 53.
19. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Показатели пожарной опасности и эффект положения функциональной группы // Безопасность критических инфраструктур и территорий : Матер. IV Всерос. конф. и XIV школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. — С. 80–81.

Материал поступил в редакцию 12 июля 2012 г.

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. IX. CHLOROALKANES

SMIRNOV V. V., Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Lecturer of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: s_vitaly2006@list.ru)

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCS, Expert of OOO PROMET (PROMET Ltd.), Senior Researcher, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Alexshome@mail.ru)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Head of Chemistry Department, the Urals State Agricultural Academy (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@yandex.ru)

ZHIVOTINSKAYA L. O., Researcher, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: milamail@bk.ru)

ABSTRACT

The correlation of chemical structure and fire-dangerous properties is studied in number of aliphatic chloroalkanes. The carbon rule well works for these compounds. It is allowed to predict their physico-chemical and fire-dangerous indices. The empirical equations of calculation are offered for: boiling point ($TB(K) = -0,716N_C^2 + 35,078N_C + 220$), $TB(K) = -0,3184\beta^2 + 23,386\beta + 220$, $TB(K) = 202,3 + 590,34/C_s - 320,01/C_s^2 + 90,92/C_s^3$; flash point ($FP(K) = -0,595N_C^2 + 24,03N_C + 206,4$; $FP(K) = 189 + 7,72\beta^{1,5} - 0,632\beta^{2,5} + 0,08\beta^3$; $FP(K) = 198,5 + 64,99/C_s + 774,8/C_s^2 - 1093,01/C_s^3 + 443,29/C_s^4$; $FP(K) = -0,83N_C + 0,67TB(K) + 34$); low explosive limits ($LEL(\%) = 0,045N_C^{0,5} + 8/N_C - 0,59/N_C^{1,5} - 0,2$); refractive index ($n_D = 1,4736 - 0,5079/N_C + 0,5079/N_C^{1,5} - 0,1544/N_C^2$; $n_D = 1,489 - 0,166/\beta^{0,5} - 0,134/\beta + 0,169/\beta^2$, $n_D = 1,555 + 0,012C_s - 0,104C_s^{0,5} - 0,045\exp(-C_s)$); heat of vaporization ($H_v(\text{kJ/mole}) = 10,984N_C^{0,5} + 9,93$). N_C is number of carbon atoms, $\beta = 1,5N_C$, C_s is the stoichiometric concentration, $C_s = 100/(1 + 4,76\beta)$ for normal chloroalkanes. N_C is the conventional hydrocarbon chain for compounds of isostructure. In the modified Ormandy–Craven's formula the values of coefficients a (0,630) and b (57,53) are improved for this number of organic compounds.

Keywords: chloroalkane; rule; property; fire hazard; characteristic.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniem. I. Alkanoly [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. I. Alcohols]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 20 January 2013).
2. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
3. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
4. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniem. IV. Prostyye efiry [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. IV. Ethers]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).

5. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniem. V. Karbovoye kisloty [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025781> (Accessed 20 January 2013).
6. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniem. VI. Aldehydy [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1032598> (Accessed 20 January 2013).
7. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniem. VII. Nitroalkany [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1080352> (Accessed 20 January 2013).
8. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VIII. Esters (Part 1)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
9. Sigma-Aldrich database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 20–25 October 2011).
10. Akron University database. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/> (Accessed 15–25 November 2011).
11. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr/> (Accessed 15–25 November 2011).
12. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 1. 713 p., vol. 2. 774 p.
13. Bolotnikov M. F., Neruchev Yu. A. Temperatury plavleniya i kipeniya soyedineniy v gomologicheskikh ryadakh monogalogen-*n*-alkanov [The melting and boiling points of compounds in homologous series of monohalogenated *n*-alkanes]. *Zhurnal fizicheskoy khimii — Russian Journal of Physical Chemistry A, Focus on Chemistry*, 2007, vol. 81, no. 8, pp. 1198–1202.
14. Russian State Standard 12.1.044–89*. *Occupational Safety Standards System. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination*. Available at: NSIS PB, 2012, Iss. 1 (47) (in Russian).
15. Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kopylov S. N., Gorshkov V. I., Korolchenko I. A., Poletaev A. N., Poletaev N. L., Vasina O. V., Verevkin V. N., Belov S. G. *Raschet osnovnykh pokazateley pozharovryvopasnosti veshchestv i materialov: rukovodstvo* [Calculation of main fire and explosion indices of compounds and materials. Manual]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2002. 77 p.
16. Korolchenko A. Ya., Shebeko Yu. N., Ivanov A. V. Raschet nizhnego kontsentratsionnogo predela vosplameneniya individualnykh veshchestv [Calculation of LEL for individual compounds]. *Obzornaya informatsiya. Seriya: Pozharnaya bezopasnost — Review's information. Series: Fire safety*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1981, no. 4. 33 p.
17. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast I. Istoriya voprosa, definitsii, metody eksperimentalnogo opredeleniya [Flash Point. Part I. Question History, Definitions and Test Methods of Determination]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025030> (Accessed 20 January 2013).
18. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction*: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Brigham Young University, 2010. p. 53.
19. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Pokazateli pozharney opasnosti i effekt polozheniya funktsionalnoy gruppy [Indices of fire hazard and the effect of a functional group]. *Trudy IV Vserossiyskoy konferentsii i XIV shkoly molodykh uchennykh “Bezopasnost kriticheskikh infrastruktur i territorii”* [Proc. IV All Russian Conf. and XIV School of Young Scientists “Safety of critical infrastructures and territories”]. Yekaterinburg, 2011, pp. 80–81.

О. Б. РУДАКОВ, д-р хим. наук, профессор, проректор по науке и инновациям, заведующий кафедрой физики и химии, ФГБОУ ВПО Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru)

М. А. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры физики и химии, ФГБОУ ВПО Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: u00476@vgasu.vrn.ru)

А. В. КАЛАЧ, д-р хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе, ФГБОУ ВПО Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a_kalach@mail.ru)

Ю. В. СПИЧКИН, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры химии и процессов горения, ФГБОУ ВПО Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

УДК 66.08:543.08

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА В ОЦЕНКЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ СРЕД

Представлен прототип информационно-аналитической системы, которая может применяться для инструментального анализа пожароопасных свойств, поиска оптимальных решений при подборе растворителей для пробоподготовки. Показаны роль и место информационных технологий в совершенствовании, унифицировании технико-эксплуатационных характеристик методик контроля. Описаны производственные правила для оригинального программного продукта Сольвент-Р.

Ключевые слова: растворители; пожароопасные свойства; информационно-аналитическая система.

Компьютеризация рабочего места аналитика — современная реальность! Почти для каждого инструментального метода анализа разработаны или разрабатываются системы информационно-поисковые (ИПС), информационно-аналитические (ИАС), информационно-экспертные (ИЭС), экспертные (ЭС) [1, 2]. Применение информационных и цифровых технологий существенно повышает эффективность экспертизы качества и подлинности продукции, позволяет совершенствовать и унифицировать технико-эксплуатационные характеристики методик контроля.

Для поиска оптимальных решений при подборе растворителей для пробоподготовки и химического анализа разработан прототип ИАС, которому дано авторское название *Сольвент-Р* (от английского слова *solvent*, которое означает и *растворитель*, и *решение проблемы*). ИАС включает в себя: пополняемую базу данных; базу знаний, выполненную в виде набора так называемых производственных правил (термин, принятый для требований и граничных условий, предъявляемых к оптимизируемым параметрам); алгоритмы решений. База данных по физико-химическим свойствам индивидуальных и смешанных растворителей накапливалась в течение последних 15 лет на кафедре аналитической химии Воронеж-

ского государственного университета в научной школе профессора В. Ф. Селемеева [2]. Производственные правила (некоторые из которых представлены в таблице) регулируют тренды максимизации или минимизации свойств растворителей в зависимости от поставленной аналитической задачи.

В зависимости от решаемой задачи вклад того или иного производственного правила может существенно изменяться, какими-то правилами можно пренебречь, а отдельные правила радикально меняют вектор оптимизации. Например, чем ниже значения температур кипения $t_{\text{кип}}$, воспламенения $t_{\text{всп}}$ и самовоспламенения $t_{\text{свп}}$, ниже предел допустимой концентрации (ПДК) и выше давление насыщенного пара $P_{\text{пар}}$, тем менее приемлем для анализа растворитель с точки зрения техники безопасности; чем дешевле растворитель, чем лучше он растворяет аналит и хуже смешивается с водой, тем более он пригоден для экстракции; чем более прозрачен растворитель в ультрафиолетовом свете, тем лучше он подходит для растворения пробы, анализируемой с помощью ультрафиолетового детектора (УФД), и т. д.

ИАС выполнена в оболочке стандартного ПО *Microsoft Office Access*, что практически избавляет от процедур программирования и создания интер-

Примеры производственных правил для информационно-аналитической системы Сольвент-Р

Параметр	Правило	Примечание
Температура кипения	Достаточно высокая (или достаточно низкая при проведении жидкостно-жидкостной экстракции (ЖЖЭ))	Необходимость: отсутствия паровых пузырьков в клапане насоса и детекторе; неизменности состава и концентрации раствора аналита и подвижной фазы из-за испарения низкокипящего компонента. Уменьшение возможности образования токсичных паров выше уровня ПДК или пожаровзрывоопасных воздушных смесей
Плотность	Достаточно высокая	Для плотных растворов менее вероятен турбулентный характер потока, ниже высота напора над входом в насос
Давление насыщенного пара	Достаточно низкое	Для предотвращения образования токсичных паров растворителей выше уровня ПДК или взрывопожароопасных воздушных смесей
Вязкость	Достаточно низкая	В низковязких растворах эффективнее диффузия и массообмен, меньше рабочее давление жидкостного насоса
Коэффициент проницаемости	Достаточно низкий	Для обеспечения эффективной диффузии и массообмена
Поглощение в УФ-области	Минимальное	Малая прозрачность растворителей ухудшает чувствительность УФД и спектрофотометрического детектора (СФД)
Показатель преломления	Максимально отличный от аналита	Малая разница в показателях преломления растворителя и аналита ухудшает чувствительность рефрактометрического детектора (РМД)
Потенциал восстановления	Достаточно высокий	Для обеспечения работы вольтамперметрических детекторов
Стоимость	Невысокая	Для снижения расходов на анализ
Токсичность	Минимальная	Для обеспечения безопасности работ
Температуры вспышки и самовоспламенения	Достаточно высокие	Для безопасности при хранении и использовании
Поверхностное натяжение	Достаточно низкое	Для обеспечения эффективной экстракции аналита из водных растворов и повышения коэффициента проницаемости
Диэлектрическая проницаемость	Высокая	Для обеспечения работы электрохимического детектора (ЭХД)

фейса. На рис. 1 и 2 представлен интерфейс программы Сольвент-Р.

Сольвент-Р позволяет пополнять и редактировать базу данных, задавать нормы и весовые коэффициенты свойств растворителей в соответствии с производственными правилами, выбирать оптимальную для конкретной инструментальной методики химического анализа бинарную систему растворителей.

Анализируемые с помощью ИАС свойства растворителей были разбиты на три группы по признакам: совместимости с методом детектирования и аналитом; совместимости с колонкой и насосной системой; практичности и безопасности (рис. 2). Первая и третья группы свойств носят универсальный характер, вторая рассчитана в первую очередь на применение в экстракционно-хроматографических методиках, сочетающих ЖЖЭ на этапе подготовки пробы и высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) на этапах разделения и детектирования компонентов анализируемой пробы.

Задавалась конкретная область применения и оценивалась оптимальность системы растворителей для решаемой аналитической задачи.

Для поиска решений в качестве критериев оптимальности использовали обобщенные критерии ($K_{об}$) и обобщенные целевые функции ($F_{об}$) [3]. *Обобщенный критерий* $K_{об}$ позволяет количественно сравнивать совокупность параметров, учитывающих производственные правила. В качестве нормирующего значения для каждого параметра брали оптимальные значения этих параметров на основе экспертного заключения. Ограничением при поиске оптимального решения с использованием обобщенного критерия является дискретный характер последнего:

$$K_{об} = \sum_{i=1}^m a_i (x_i^s / x_i^w), \quad (1)$$

где $K_{об}$ — значение обобщенного критерия для s -го варианта (объекта, процесса, решения);

a_i — коэффициент веса для i -го показателя;

x_i^s — величина i -го показателя для s -го варианта объекта;

x_i^w — нормирующее значение для i -го показателя (свойства гипотетического объекта, имеющего оптимальное значение i -го показателя);

m — количество показателей.

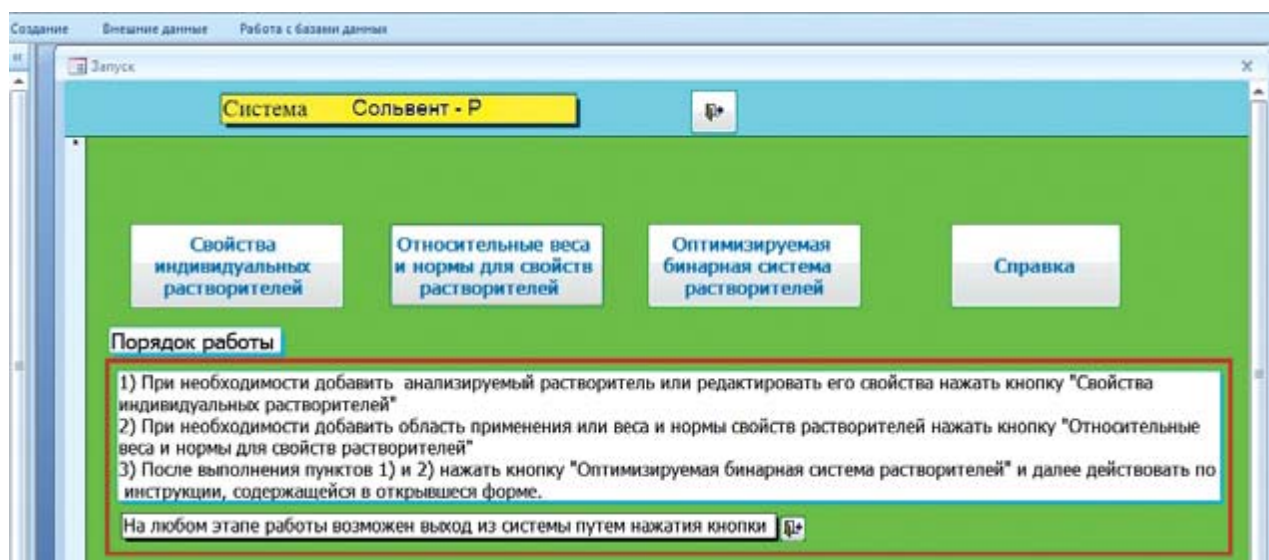


Рис. 1. Скриншот интерфейса начальной страницы программы Сольвент-Р

Критерий $K_{об}$ рассчитывается для конкретного индивидуального или смешанного растворителя по экспериментальным данным и не позволяет оценивать смеси растворителей произвольного состава. Решить задачу, как варьированием качественным и количественным составом смесей из нескольких растворителей добиться приемлемого сочетания свойств для конкретной аналитической цели, можно с помощью целевых функций.

Обобщенные целевые функции $F_{об}$ строятся суммированием нормализованных частных целевых

функций с учетом коэффициентов веса, трендов минимизации (максимизации) свойств и граничных условий. Оптимальное решение находится в результате поиска локального максимума этой функции в области, определенной граничными условиями:

$$F_{об} = \sum_{k=1}^S \alpha_k F_n \rightarrow \max, \quad (2)$$

где F_n — k -я нормализованная целевая функция;
 S — число составляющих целевых функций;
 α_k — коэффициент веса k -й целевой функции.



Рис. 2. Скриншот одной из рабочих страниц программы Сольвент-Р

База данных включает в себя наиболее важные физико-химические и технико-эксплуатационные экспериментальные зависимости свойства бинарной смеси от состава, которые используются как частные целевые функции.

В целом применение обобщенных критериев и обобщенных целевых функций дает согласованные оценки при прогнозе технико-эксплуатационных характеристик смешанных растворителей, используемых в ЖЖЭ, спектрофотометрии или ВЭЖХ.

Адекватность экспертной оценки, полученной при помощи ИАС Сольвент-Р, подтверждается также расчетами с использованием критериев желательности Харрингтона [4], а также результатами статистического обзора валидизированных инструментальных методик. Растворители индивидуальные и смешанные с наиболее высоким рейтингом в реальности чаще всего используются в лабораторной практике [4–6]. В работах [5–8] рассмотрены в первую очередь их пожаровзрывоопасные характеристики. Эти данные были учтены в ИАС Сольвент-Р.

Для определения рейтинга растворителей по пожарной опасности предложена новая модель целевой функции, которая отличается от зависимости температуры вспышки или горения от состава смешанного растворителя и может быть применена как к индивидуальным, так и смешанным растворителям. За стандартный растворитель принят ацетонитрил.

Для лабораторной практики температурой самовоспламенения зачастую можно пренебречь, так как для используемых в ЖЖЭ и ВЭЖХ органических растворителей она превышает 400 °С, поэтому самовоспламенение возможно только в условиях внешнего устойчивого горения. Методы предотвращения самовоспламенения полностью описываются противопожарными правилами для помещений, в которых производятся работы, вследствие чего этот эффект не сказывается на целевой функции качества экстракционной или хроматографической системы.

Температуры вспышки или горения части растворителей соответствуют рабочему диапазону установки (15–90 °С), а для некоторых из них даже ниже нижней границы этого диапазона. Оба эти явления возникают только в нештатных ситуациях (короткое замыкание, статический разряд и т. п.), вследствие чего принципиальная возможность их возникновения при работе установки лишь вызывает необходимость усиления противопожарных мероприятий, но не делает работу полностью невозможной. В разных условиях работы соотношение рисков, вызываемых вспышкой и устойчивым горением, может принимать различные значения, поэтому сформируем парциальные целевые функции (F_i) этих явлений.

В любом случае целевая функция F_i должна удовлетворять следующим требованиям:

- область изменения F_i должна определяться интервалом $[0; 1]$;
- повышение температуры реализации соответствующего риска увеличивает количественную оценку растворителя;
- максимальная скорость изменения F_i должна соответствовать рабочему диапазону температур экстракционной установки или хроматографической колонки;
- изменение температуры реализации соответствующего риска за пределами рабочего диапазона должно приводить лишь к незначительным изменениям количественной оценки растворителя.

Всем этим требованиям удовлетворяет парциальная целевая функция следующего вида:

$$F_{\text{риск}} = F_{\min} + 1/2 + \frac{\arctg [V_{\text{риск}} (t - t_{\text{риск}}) - \Phi_{\text{риск}}(t)]}{\pi}, \quad (3)$$

где индекс “риск” соответствует и вспышке, и горению;

$F_{\min}$ — минимальное значение целевой функции для растворителей, практическое использование которых сопряжено со значительной пожароопасностью в нештатных ситуациях;

$V_{\text{риск}}$ — скорость изменения целевой функции;

t — текущая температура;

$t_{\text{риск}}$ — положение рабочего диапазона температур экстракционной установки или хроматографической колонки;

$\Phi_{\text{риск}}(t)$ — положительно определенная вспомогательная функция, обеспечивающая быстрое снижение целевой функции для растворителей, температуры реализации рисков для которых меньше, чем для эталонного растворителя.

Последнему требованию удовлетворяет экспоненциальная функция вида

$$\Phi_{\text{риск}}(t) = 1 - \exp [-c(t - t_{\text{риск}}) \sin(t - t_{\text{риск}})] = 1 - \exp \left[-ct_{\text{риск}} \left(\frac{t}{t_{\text{риск}}} - 1 \right) \sin \left(\frac{t}{t_{\text{риск}}} - 1 \right) \right]. \quad (4)$$

С ростом значений параметра $ct_{\text{риск}}$ функция (4) быстро падает при температурах меньше $t_{\text{риск}}$, что и обеспечивает регулируемое снижение целевой функции для растворителей, температуры реализации рисков для которых меньше, чем для эталонного растворителя.

В качестве эталонного растворителя выбрали ацетонитрил, наиболее часто применяемый в обращенно-фазовой ВЭЖХ [3]. Ацетонитрил имеет усредненную температуру вспышки в закрытом и открытом тиглях +2 °С и температуру воспламенения +21 °С.

Выберем параметры целевой функции (1) так, чтобы оценка эталонного растворителя при соответ-

ствующих температурах риска равнялась 0,1 и снижалась до 0,01 для растворителей, температуры рисков для которых на 10 °С меньше, чем для эталона. Последнее требование определяет значение параметра $F_{\min} = 0,01$. Скорость изменения целевой функции принимает значение 0,15, параметр c функции (2) — 0,25.

При температурах вспышки и горения, соответствующих эталонному растворителю (ацетонитрилу), целевая функция принимает значение 0,1 и при уменьшении температур на 10 °С падает до 0,01.

Интегральная целевая функция $F_{\text{пож}}$ характеризует пожароопасность растворителя, используемого в жидкостной экстракции или хроматографии. Она представляет собой сумму парциальных целевых функций с относительными весами, определяемыми условиями работы установки:

$$F_{\text{пож}} = rF_{\text{всп}} + (1 - r)F_{\text{гор}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{всп}}$, $F_{\text{гор}}$ — интегральные целевые функции температур вспышки и горения.

Для ацетонитрила $F_{\text{пож}} = 0,1$; для воды и негорючих галогенпроизводных, например CCl_4 , — $F_{\text{пож}} = 1,0$; для других растворителей и их смесей она варьирует в диапазоне 0,01...1,0.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что предложенная информационно-аналитическая система позволяет прогнозировать не только технико-эксплуатационные свойства жидких сред, от которых зависит качество инструментального химического анализа, но и пожаровзрывобезопасность индивидуальных и бинарных растворителей, используемых в жидкостной экстракционной пробоподготовке и хроматографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудакова Л. В., Рудаков О. Б., Бердникова Н. В. Информационно-поисковые и экспертные системы в аналитической химии // Бутлеровские сообщения. — 2011. — Т. 24, № 2. — С. 1–15.
2. Рудаков О. Б., Рудакова Л. В., Селеменев В. Ф. Информационно-экспертные системы в хроматографическом анализе (обзор) // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — № 2. — С. 165–184.
3. Рудаков О. Б., Востров И. А., Филиппов А. А., Федоров С. В., Селеменев В. Ф., Приданцев А. А. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии. — Воронеж : Водолей, 2004. — 528 с.
4. Рудаков О. Б., Селеменев В. Ф., Рудакова Л. В. Количественные критерии выбора оптимальных растворителей для ВЭЖХ // Теория и практика сорбционных процессов. — 1998. — Вып. 23. — С. 251–258.
5. Рудаков О. Б., Алексеев С. Г., Бердникова Н. В., Калач А. В., Барбин Н. М. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 57–60.
6. Алексеев С. Г., Рудаков О. Б., Черепяхин А. М., Калач Е. В., Рудакова Л. В. Пожарная безопасность исследовательских лабораторий, применяющих жидкостную экстракцию и хроматографию // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — № 5. — С. 770–778.
7. Рудаков О. Б., Калач А. В., Бердникова Н. В. Пожарная опасность водорастворимых растворителей и их водных растворов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 31–32.
8. Рудаков О. Б., Черепяхин А. М., Исаев А. А., Рудакова Л. В., Калач А. В. Температура вспышки бинарных растворителей для жидкостной хроматографии // Конденсированные среды и межфазные границы. — 2011. — Т. 13, № 2. — С. 191–195.

Материал поступил в редакцию 29 января 2013 г.

English

THE INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM IN THE ASSESSMENT OF TECHNICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF LIQUID MEDIUMS

RUDAKOV O. B., Doctor of Chemistry Sciences, Professor, Vice-Rector for Science and Innovations, Head of the Department of Physics and Chemistry, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-Letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: rudakov@vgasu.vrn.ru)

PREOBRAZHENSKIY M. A., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Associated Professor of the Department of Physics and Chemistry, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-Letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russia Federation; e-mail address: u00476@vgasu.vrn.ru)

KALACH A. V., Doctor of Chemistry Sciences, Docent, Deputy Head on Scientific Work, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a_kalach@mail.ru)

SPICHKIN Yu. V., Doctor of Chemistry Sciences, Professor, Professor of Department of Chemical and Combustion Processes, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

ABSTRACT

The paper presents a prototype of information-analytical system Solvent-R created with Microsoft Access. Information-analytical system contains a database of physical, chemical, technical and exploitation, fire and explosion hazard, toxicological properties of individual and binary solvents. The system contains a set of production rules that regulate the trend of maximizing or minimizing solvent properties. Applying the generalized criteria or generalized functions, setting the boundary conditions, using the provided information and analysis system it is possible to find the optimum solvent composition for a given analytical problem. To determine the fire danger rating of solvents a new model of the objective function is proposed. Acetonitrile was adopted as a standard solvent, because acetonitrile is a base solvent in reversed-phase chromatography. Information and analysis system allows predicting the technical and exploitation characteristics of liquids that affect the quality of the instrumental chemical analysis, and the fire and explosion safety of individual and binary solvents used in the extraction sample preparation and liquid chromatography.

Keywords: solvents; fire-hazardous properties; the information-analytical system.

REFERENCES

1. Rudakova L. V., Rudakov O. B., Berdnikova N. V. Informatsionno-poiskovyye i ekspertnyye sistemy v analiticheskoy khimii [Information-search and expert systems in analytical chemistry]. *Butlerovskie soobshcheniya — Butlerov communications*, 2011, vol. 24, no. 2, pp. 1–15.
2. Rudakov O. B., Rudakova L. V., Selemenov V. F. Informatsionno-ekspertnyye sistemy v khromatograficheskom analize (obzor) [Information-expert systems in a chromatographic analysis (review)]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy — Sorption and chromatographic processes*, 2012, no. 2, pp. 165–184.
3. Rudakov O. B., Vostrov I. A., Filippov A. A., Fedorov S. V., Selemenov V. F., Pridantsev A. A. *Sputnik khromatografista. Metody zhidkostnoy khromatografii* [Guide of chromatographyst. Methods of liquid chromatography]. Voronezh, Vodoley Publ., 2004. 528 p.
4. Rudakov O. B., Selemenov V. F., Rudakova L. V. Kolichestvennyye kriterii vybora optimalnykh rastvoriteley dlya VEZhKh [The quantitative criteria of choice of optimum solvent for HPLC]. *Teoriya i praktika sorbtsionnykh protsessov — Theory and practice of sorption processes*, 1998, no. 23, pp. 251–258.
5. Rudakov O. B., Alexeev S. G., Berdnikova N. V., Kalach A. V., Barbin N. M. Pozharovzryvobezopasnost khromatograficheskoy analiticheskoy laboratorii [Fire and Explosion Safety of Chromatography Laboratory]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 57–60.
6. Alekseev S. G., Rudakov O. B., Cherepakhin A. M., Kalach A. V., Rudakova L. V. Pozharnaya bezopasnost issledovatel'skikh laboratoriy, primenyayushchikh zhidkostnuyu ekstraktsiyu i khromatografiyu [Fire safety research laboratories, applying the liquid extraction and chromatography]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy — Sorption and chromatographic processes*, 2012, no. 5, pp. 770–778.
7. Rudakov O. B., Kalach A. V., Berdnikova N. V. Pozharnaya opasnost vodorastvorimyykh rastvoriteley i ikh vodnykh rastvorov [Fire Danger of Water-Soluble Solvents and Their Water Solutions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 31–32.
8. Rudakov O. B., Cherepakhin A. M., Isaev A. A., Rudakova L. V., Kalach A. V. Temperatura vspyshki binarnyykh rastvoriteley dlya zhidkostnoy khromatografii [Fire danger of binary organic solvents for liquid chromatography]. *Condensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy — Condensed matter and interphases*, 2011, vol. 13, no. 2, pp. 191–195.

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2013

21-24 МАЯ

Москва, Всероссийский выставочный центр,
Павильон 75



www.isse-russia.ru



Федеральная служба
по военно-техническому
сотрудничеству (ФСВТС России)

ДЕКЛАМА

В. М. БАЛАКИН, канд. хим. наук, профессор кафедры технологии переработки пластмасс, Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: balakin_v.m@mail.ru)

М. А. КРАСИЛЬНИКОВА, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета, научный сотрудник научно-исследовательского отделения Учебно-научного комплекса обеспечения пожарной безопасности объектов защиты (НИО УНК), ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

А. В. СТАРОДУБЦЕВ, аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37)

С. Н. ПАЗНИКОВА, начальник кафедры химии и процессов горения, ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: paznikova2007@mail.ru)

Т. И. АХМЕТОВ, курсант, ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Д. В. ЦЕЛОУСОВ, курсант, ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

М. И. СМОЛЬНИКОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 620.197.6:678.049.91:532.72

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ АНТИПИРЕНОВ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ АМИНОЛИЗА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Получены фосфорсодержащие замедлители горения для древесины, определены их физико-химические свойства. Изучена огнезащитная эффективность антипиренов для древесины на основе продуктов аминолита полиэтилентерефталата экспресс-методом "огневая труба" и на установке типа ОТМ согласно НПБ 251–98.

Ключевые слова: огнезащитный состав для древесины; полиэтилентерефталат; аминолит.

В мировой практике строительной индустрии материалы из древесины находят широкое применение в качестве конструкционного материала для зданий и сооружений различного назначения — жилых, сельскохозяйственных, животноводческих, складских, производственных и общественных. В настоящее время в России, странах Европы и Азии интенсивно развивается малоэтажное деревянное строительство, а также строительство зданий и сооружений с применением деревянных клееных конструкций.

Область применения деревянных конструкций обусловлена стойкостью древесины к повышенной агрессии среды и малой, по сравнению с металлом и железобетоном, объемной массой.

Однако применение конструкций из древесины без соответствующей огнезащиты ограничено, особенно в строительстве общественных и производственных крупногабаритных сооружений и зданий. Современные способы огнезащиты, разработанные для деревянных конструкций, позволяют существенно снизить их пожарную опасность [1].

В настоящее время для огнезащиты натуральной древесины популярны такие способы, как поверхностная и глубокая пропитка специальными составами, содержащими антипирены, а также нанесение огнезащитных покрытий [1].

Обработка огнезащитными покрытиями заключается в нанесении на поверхность защищаемого материала слоя покрытия, эффективность которого определяется физико-химическими свойствами и адгезией к данной поверхности. При непосредственном воздействии источника зажигания огнезащитные покрытия затрудняют горение конструкций, облегчая тем самым тушение пожара, а в ряде случаев исключают возможность его возникновения.

Ранее на кафедре технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета были разработаны рецептуры огнезащитных составов (ОЗС) для древесины из продуктов аминолита полиэтилентерефталата (ПЭТФ) полиаминами и совместно с кафедрой химии и процессов горения Уральского института ГПС

© Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Пазникова С. Н., Ахметов Т. И., Целоусов Д. В., Смольников М. И., 2013

МЧС России исследована огнезащитная эффективность этих соединений [2, 3].

Целью данной работы является получение и изучение свойств и огнезащитной эффективности антипиренов для древесины на основе продуктов аминолита ПЭТФ и, кроме того, сравнение полученных результатов по огнезащитной эффективности с выпускаемым в настоящее время промышленностью антипиреном “Аммафон-1” (ТУ 2499-025-16886106–2003) (далее — аммафон).

Огнезащитный состав был получен из продуктов аминолита ПЭТФ алифатическими аминами при условиях, приведенных в работах [2–4]. В качестве алифатических аминов использовали моноэтанол-амин (ОЗС-1), диэтанол-амин (ОЗС-2) и полиэтилен-полиамин (ОЗС-3).

Исследование физико-химических свойств синтезированных ОЗС (см. таблицу) показало, что они находятся на уровне контрольного образца — аммафона, что с технологической точки зрения позволяет их наносить на поверхность защищаемой конструкции.

Первичную оценку эффективности огнезащитных составов определяли экспресс-методом “огневая труба”. Он заключается в поджигании образцов размером 100×35×5 мм при помощи спиртовой горелки в течение 2 мин в “огневой трубе”. Обработку образцов осуществляли многократным нанесением ОЗС кистью.

Для определения оптимального расхода огнезащитных составов с максимальной огнезащитной способностью были проведены исследования по обработке древесных образцов несколькими (от 1 до 4) слоями ОЗС. Для сравнения влияния степени поглощения ОЗС древесиной на потерю массы последней при горении использовали древесные материалы, пропитанные составами ОЗС-1 и ОЗС-2. В качестве контрольного использовали древесный образец, пропитанный аммафоном (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что увеличение расхода ОЗС на основе этаноламинов приводит к снижению потери массы при горении. Кроме того, из графика следует, что огнезащитный состав ОЗС-1 наиболее эффективен: потеря массы образца составляет 10 % при расходе 80 г/м², в то время как потеря массы контрольного образца при таком же расходе более 30 %.

Предварительная оценка эффективности огнезащитных составов по методу “огневая труба” показала, что применение разработанных азотфосфор-содержащих ОЗС приводит к снижению потери массы образцов древесины при горении. С целью подтверждения предварительных исследований огнезащитной эффективности новых составов, выполненных экспресс-методом, были проведены испытания ОЗС на основе этаноламинов согласно

Физико-химические свойства огнезащитных составов

Показатель	Аммафон	ОЗС-1	ОЗС-2	ОЗС-3
Внешний вид	Жидкость светло-коричневого цвета	Жидкость светло-желтого цвета	Жидкость темно-коричневого цвета	
Массовая доля сухого остатка, %	44–50	42,6	46,5	59,2
Плотность, г/м ³	1,17–1,19	1,19	1,18	1,22
Условная вязкость, с	12–15	10	11	12
pH	6,5–7,5	7	7	7

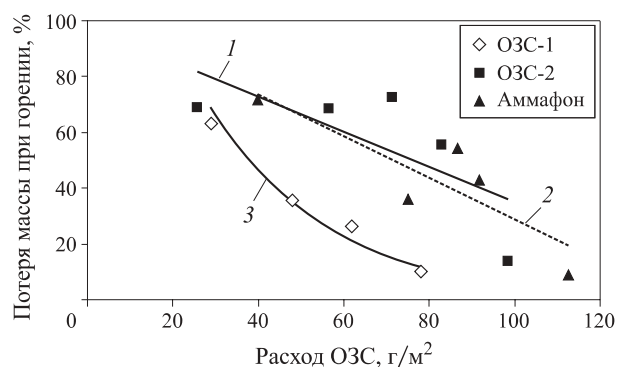


Рис. 1. Зависимость потери массы образцов древесины при горении от расхода ОЗС на основе этаноламинов (метод “огневая труба”): 1 — $r^2 = 0,51$; 2 — $r^2 = 0,75$; 3 — $r^2 = 0,95$

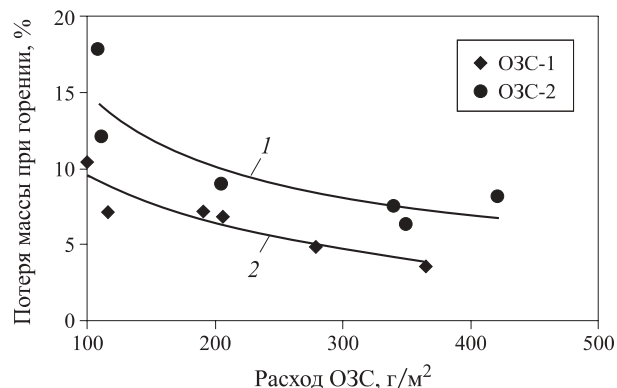


Рис. 2. Зависимость потери массы образцов древесины при горении от расхода ОЗС на основе этаноламинов (установка типа ОТМ): 1 — $r^2 = 0,79$; 2 — $r^2 = 0,83$

НПБ 251–98 [5, 6] на установке типа ОТМ на древесных образцах размером 150×60×30 мм (рис. 2).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что результаты предварительных исследований на установке типа ОТМ имеют аналогичную закономерность, что и полученные по методу “огневая труба”. Минимальная потеря массы образцов при горении наблюдается при применении ОЗС-1 и составляет 3 %. Наиболее целесообразно приме-

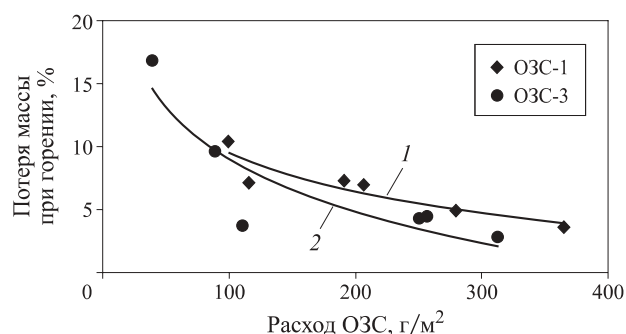


Рис. 3. Зависимость потери массы образцов древесины при горении от расхода ОЗС-1 и ОЗС-3 (установка типа ОТМ): 1 — $r^2 = 0,83$; 2 — $r^2 = 0,80$

нять ОЗС на основе моноэтаноламина (ОЗС-1) при его расходе 100 г/м^2 и нанесении его одним слоем.

В ранее проведенных работах по исследованию огнезащитной эффективности ОЗС для древесины

из продуктов аминолитиза ПЭТФ ди- и полиаминами было установлено, что наиболее эффективен состав, полученный в процессе аминолитиза ПЭТФ полиэтиленполиамином (ОЗС-3) [2]. Следовательно, наиболее целесообразно произвести сравнение результатов, полученных при исследовании двух составов из продуктов аминолитиза ПЭТФ — моноэтаноламином и полиэтиленполиамином (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что огнезащитные составы ОЗС-1 и ОЗС-3 обладают высокой огнезащитной эффективностью по отношению к древесине. При расходе обоих ОЗС 100 г/м^2 и более потеря массы при горении древесных образцов не превышает 10 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что полученные огнезащитные составы ОЗС-1, ОЗС-2 и ОЗС-3 при расходе более 100 г/м^2 относятся к первой группе по огнезащитной эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
2. Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Гарифуллин Д. Ш., Киселева А. П. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолитиза ПЭТФ диаминами и полиаминами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 2. — С. 27–30.
3. Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Киселева А. П. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолитиза полиэтилентерефталата моноэтаноламином // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 26–30.
4. Черкасов Р. А., Галкин В. И. Реакция Кабачника-Филдса: синтетический потенциал и проблема механизма // Успехи химии. — 1998. — Т. 67, № 10. — С. 940–968.
5. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001.
6. НПБ 251–98. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний: приказ ГУГПС МВД России от 31.03.98 г. № 30; приказ МЧС России от 18.06.2003 г. № 316; введ. 30.04.1998 г. — М.: ВНИИПО МВД России, 1998. — 10 с.

Материал поступил в редакцию 25 января 2013 г.

English

COMPARATIVE EVALUATION OF FIRE-PROTECTIVE PROPERTIES OF PHOSPHORUS-CONTAINING FIRE RETARDANTS BASED ON POLYETHYLENETEREPHTHALATE AMINOLYSIS PRODUCTS

BALAKIN V. M., Candidate of Chemistry Sciences, Professor of Department of Technology of Processing of Plastic, Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: balakin.v.m@mail.ru)

KRASILNIKOVA M. A., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University, Researcher of Research Office of the Educational and Scientific Complex of Ensuring Fire Safety of Objects of Protection, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

STARODUBTSEV A. V., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation)

PAZNIKOVA S. N., Head of Chemistry and Combustion Process Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: paznikova2007@mail.ru)

АКХМЕТОВ Т. И., Cadet, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

TSELOUSOV D. V., Cadet, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

SMOLNIKOV M. I., Lecturer of Fire Safety in Construction Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ABSTRACT

The work purpose — receiving and studying of properties and fireproof efficiency fire retardants for wood on the basis of products aminolysis PETF. To compare received results on fireproof efficiency with let out now the industry Ammafon-1.

The fire-protective was received from products aminolysis by PETF aliphatic amines. As an aliphatic amines used monoethanolamine (FRC-1), diethanolamine (FRC-2), polyethylenepolyamine systems (FRC-3). In the article the physico-chemical properties of synthesized FRC are given.

The preliminary estimate of efficiency of fireproof structures on a method “a fire pipe” showed that application of developed by nitrogenphosphorus-containing fire retardant composition leads to decrease in loss of weight of wood samples when burning. For the purpose of confirmation of preliminary researches of fireproof efficiency of the new structures, carried out the express — the method, carried out fire retardant composition tests on a basis ethanolamines on OTM type installation.

The carried-out researches showed that received fireproof structures FRC-1 and FRC-2 at an expense more 100 g/m² treat the first group of fireproof efficiency.

Keywords: flameretardant for wood; polyethyleneterephthalate; aminolysis.

REFERENCES

1. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Wood combustion and its fire-dangerous properties]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. — 262 p.
2. Balakin V. M., Krasilnikova M. A., Starodubtsev A. V., Garifullin D. Sh., Kiseleva A. P. Ognezashchitnyye sostavy dlya drevesiny na osnove produktov aminoliza PETF diaminami i poliaminami [Retardants for wood-based products aminolysis of PET di- and polyamine]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 27–30.
3. Balakin V. M., Krasilnikova M. A., Starodubtsev A. V., Kiseleva A. P. Ognezashchitnyye sostavy dlya drevesiny na osnove produktov aminoliza polietilentereftalata monoetanolinom [Retardants for wood-based products aminolysis of PET by monoethanolamine]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 26–30.
4. Cherkasov R. A., Galkin V. I. Reaktsiya Kabachnika-Fildsa: sinteticheskiy potentsial i problema mekhanizma [Reactions of Kabachnik-Filds: synthetic potential and problem of mechanism]. *Uspekhi khimii — Success of Chemistry*, 1998, vol. 67, no. 10, pp. 940–968.
5. *State Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2001 (in Russian).
6. *Standards of Fire Safety 251–98. Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1998. 10 p. (in Russian).



ПРОИЗВОДСТВО: г. Брянск, ул. Калинина, 160
 ОФИСЫ ПРОДАЖ: г. Брянск, тел. (4832) 74-10-89
 г. Москва, тел. (495) 233-01-91
 г. Санкт-Петербург, тел. (812) 923-18-83
 г. Краснодар, тел. (861) 240-96-72
 г. Новосибирск, тел. (383) 310-61-81

www.bizon32.ru

Огнезащита “БИЗОН” — уверенность в надежности

Происшедшие в последние годы крупные пожары с большими материальными потерями и человеческими жертвами заострили внимание общества на проблеме пожарной безопасности строящихся объектов. Согласно действующему Федеральному закону “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (№ 123-ФЗ) все здания и сооружения должны быть спроектированы и построены таким образом, чтобы в процессе эксплуатации исключалась возможность возникновения пожара, а в случае возгорания были обеспечены “пассивная” локализация пожара, замедление распространения огня, снижение влияния опасных факторов пожара на сами здания и людей, их безопасная эвакуация до наступления угрозы жизни и здоровью.

Одним из требований пожарной безопасности является обеспечение требуемой огнестойкости строительных конструкций.

В настоящее время на рынке представлено большое количество различных огнезащитных материалов. Однако общепризнано, что наиболее эффективной является огнезащита покрытиями на основе базальтового супертонкого волокна (БСТВ) или комбинации базальтовых рулонных материалов с клеевым составом.

Базальт — природный минерал, и волокна, произведенные из него, обладают уникальными свойствами — высокой температуростойчивостью, эффективными тепло- и звукоизоляционными характеристиками, исключительной виброустойчивостью, инертностью ко всем средам. Кроме того, срок службы материалов на основе базальта может достигать 40–50 лет, т. е. сравним со сроком службы самих защищаемых конструкций.

Основой всех ценных качеств базальтовых покрытий “БИЗОН” является структура материала. Благодаря уникальной технологии производства тончайшие волокна расположены в пространстве в различных направлениях хаотично и скреплены между собой силами естественного сцепления, поэтому изделия на их основе имеют достаточно прочную и стабильную структуру (каркасность) без введения связующего. Отсутствие связующего обеспечивает также экологическую чистоту материала. Покрытия “БИЗОН” в процессе эксплуатации и при пожаре не выделяют в окружающую среду вредные вещества, благодаря чему не увеличиваются токсичность и задымление среды, в которой происходит эвакуация людей (известно, что при возникновении пожара большинство людей гибнет из-за присут-



ствия в окружающей среде едких и вредных веществ, вызывающих удушье).

Покрытия “БИЗОН” являются средством конструктивной огнезащиты и предназначены для повышения предела огнестойкости воздуховодов систем вентиляции и дымоудаления (покрытия “БИЗОН”) и несущих металлических конструкций (покрытия “БИЗОН-Металл”). На сегодняшний день в номенклатуре ООО “БИЗОН” представлены покрытия для обеспечения огнестойкости строительных конструкций от 30 до 240 мин.

Для монтажа покрытий “БИЗОН” не требуется использование сложных инструментов и специальных профессиональных навыков. Высокая скорость выполнения работ и безупречный внешний вид защищаемой конструкции выгодно отличают их от других огнезащитных материалов.

Несомненным преимуществом является и то, что при использовании базальтовых материалов “БИЗОН” огнезащитное покрытие не дает существенной нагрузки на несущие конструкции; огнезащитный слой обладает высокой виброустойчивостью, выполняя одновременно тепло- и звукоизолирующие функции. Работы по огнезащите можно производить вне зависимости от погодных условий и времени года, в том числе в помещениях с повышенной влажностью воздуха (подземные гаражи, стоянки и т. п.).

Огнезащитные материалы торговой марки “БИЗОН” отвечают всем современным требованиям по обеспечению безопасности зданий и сооружений.

**Приглашаем к сотрудничеству партнеров
в городах РФ!**



ХІІ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ФОРУМ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ – 2013 ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ И СПАСЕНИЯ

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ПОЖТЕХ - 2013

ТЕХНОЛОГИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



24-26
сентября 2013 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Министерство чрезвычайных ситуаций Украины
Государственная инспекция техногенной безопасности Украины
Государственная служба горного надзора и промышленной
безопасности Украины
Международный выставочный центр

СООРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО "Объединение выставочных компаний "Бизон" (Россия)
Leipziger Messe International (Германия)

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Ассоциации "Техногенная безопасность и гражданская защита населения"
Украинского союза пожарной и техногенной безопасности

Генеральный медиа-партнер: **Бизон**

Генеральный интернет-партнер: **SECURITY.ua**

Эксклюзивный медиа-партнер: **НАДБЕЖАЛНА**

Технический партнер: **Рент'Медиа**



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

Украина, г. Киев, Броварской пр-т, 15

М "Левобережная"

☎ (044) 201-11-64, 201-11-63

e-mail: protech@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua,

www.tech-expo.com.ua

Д. С. СЕРЕБРЕННИКОВ, главный специалист, ООО "РН-КрасноярскНИПИнефть"
(Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 24в; e-mail: SerebrennikovDS@kr-nipineft.ru)

УДК 614.841.47

РАЗМЕЩЕНИЕ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И УСТАНОВОК НА ПЛОЩАДКАХ БУРЕНИЯ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ И РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ НОРМ

Дан анализ компоновки зданий, сооружений и строений на площадках бурения поисково-оценочных и разведочных скважин. Проведен анализ нормативных документов по пожарной безопасности с целью определения минимальных противопожарных расстояний между объектами буровой площадки на нефтегазовом месторождении. На основании анализа впервые предложены эргономичные варианты размещения зданий, сооружений и строений на площадке бурения поисково-оценочных и разведочных скважин.

Ключевые слова: противопожарное расстояние; пожарная безопасность нефтегазовых месторождений; бурение; ограничение распространения пожара; нормы пожарной безопасности.

Важным аспектом при разработке генерального плана буровых площадок для поисково-оценочных и разведочных скважин является соблюдение противопожарных расстояний между зданиями, сооружениями и наружными установками. Нормированный противопожарный разрыв предотвращает распространение пожара между объектами на площадке бурения [1].

Поисково-оценочные скважины бурят на площадках, подготовленных к поисковым работам, в целях открытия новых месторождений нефти и газа или новых залежей на ранее открытых месторождениях и оценки их промышленной значимости. Разведочные скважины бурят на площадках с установленной промышленной нефтегазоносностью для уточнения запасов и сбора исходных данных для составления технологической схемы разработки залежи [2]. Здания, сооружения и наружные установки, возводимые на площадке строительства, носят временный характер. На практике многие здания, сооружения и установки являются модулями полной заводской комплектации и переходят с объекта на объект.

Противопожарные расстояния между зданиями, сооружениями и наружными установками должны приниматься в зависимости от степени огнестойкости и класса их конструктивной пожарной опасности с учетом функционального назначения по действующим нормативным документам.

На типовой площадке для поисково-оценочных и разведочных скважин могут быть расположены следующие здания, сооружения и наружные установки: комплекс буровой установки (с выпечно-лебедочным, насосным блоками и т. д.); жилой городок с

мобильными вагонами-домами; котельная установка; дизель-генераторная установка (ДГУ); дизельная электростанция (ДЭС); площадка с расходными емкостями для ДЭС и ДГУ; склад горюче-смазочных материалов (ГСМ); помещение для хранения противопожарного оборудования; резервуары с противопожарным запасом воды и т. д.

На площадке бурения должен быть расположен жилой городок с вагонами-домами контейнерного типа. Обычно в жилом городке вагоны-дома размещают и комбинируют с учетом функционального назначения и норм проектирования таких городков (например, согласно [3]).

Потребителями топлива на буровой площадке являются котельные установки, ДЭС и ДГУ. Как показывает практика, предельным количеством топливных ресурсов для нужд потребителей являются топливные емкости общей вместимостью не более 1000 м³. Следует также отметить, что максимальная вместимость единичной емкости не превышает 100 м³. Совокупность таких топливных емкостей представляет собой склад ГСМ. Склад, предельная вместимость которого не превышает 2000 м³, а вместимость одной емкости составляет не более 700 м³, относится к категории IIIв (согласно табл. 5 [4]).

В таблице указаны минимальные противопожарные расстояния между объектами на типовой буровой площадке с учетом действующих нормативных документов.

Схемы размещения объектов в блоке ГСМ и варианты расположения вагонов-домов в жилом городке выбираются в зависимости от конкретных условий строительства с учетом функционального назначения.

Минимальные противопожарные расстояния на площадках поисково-оценочных и разведочных скважин

Здания, сооружения	Расстояние между сооружениями, м	Нормативный источник
Устье скважины — амбар для сжигания флюидов	100	ПБ 08-624-03, прил. 3
Устье скважины — жилой городок	60	ППБО-85, п. 7.1.1.18; ПБ 08-624-03, п. 4.4.3
Устье скважины — котельная установка	39	ПБ 08-624-03, прил. 3
Устье скважины — ДЭС	39	То же
Амбар для сжигания флюидов — котельная установка	100	“
Амбар для сжигания флюидов — склад ГСМ (Шв)	100	СП 4.13130.2009, табл. 6
Склад ГСМ (Шв) — амбар для сжигания флюидов	100	То же
Склад ГСМ (Шв) — жилой городок	100	“
Склад ГСМ (Шв) — котельная установка	30	СП 4.13130.2009, табл. 7
Склад ГСМ (Шв) — помещения хранения противопожарного оборудования; противопожарные резервуары	30	То же
Склад ГСМ (Шв) — ДГУ	30	“
Склад ГСМ (Шв) — площадка АЦ для слива ГСМ	20	“
Склад ГСМ (Шв) — насосная	10	“
Склад ГСМ (Шв) — край проезжей части внутренних автомобильных дорог и проездов	9	“
Площадка АЦ для слива ГСМ — помещения хранения противопожарного оборудования; противопожарные резервуары	30	СП 4.13130.2009, табл. 8
Площадка АЦ для слива ГСМ — насосная	10	То же
Вагон-дом контейнерного типа в группе — вагон-дом контейнерного типа в группе	1	ППБ 153-90, п. 4.6
Группа вагонов-домов контейнерного типа (не более 10) — группа вагонов-домов контейнерного типа (не более 10)	15	ППБ 153-90, п. 4.6; Правила противопожарного режима в Российской Федерации, п. 394

На основании таблицы можно предложить эргономичные варианты компоновки для склада ГСМ, площадки слива ГСМ для автоцистерны (АЦ) и насосной (рис. 1), а также для зданий и помещений в жилом городке (рис. 2).

Предложенные варианты обеспечивают следующие преимущества:

- свободный доступ к объектам при соблюдении противопожарных и санитарных норм;
- снижение затрат на транспортировку и установку;

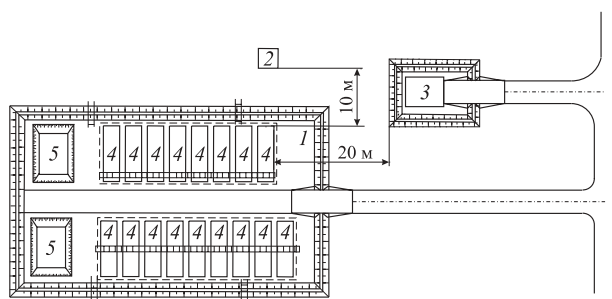


Рис. 1. Схема размещения объектов в блоке ГСМ: 1 — площадка склада ГСМ; 2 — насосная; 3 — площадка АЦ для слива ГСМ; 4 — емкость с топливом типа РГС; 5 — котлован для сбора сточных вод

- снижение расходов на монтаж инженерных сетей и в процессе эксплуатации.

Ранее вопрос об эргономичности зданий, сооружений и установок на площадках бурения не поднимался, поэтому указанные варианты компоновки предлагаются впервые.

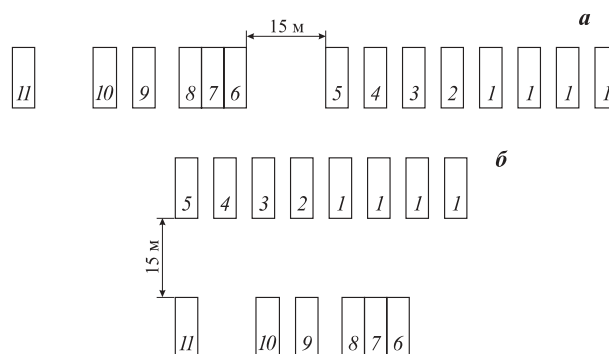


Рис. 2. Схемы расположения вагонов-домов в жилом городке: 1 — здание мобильное; 2 — здание мобильное — комната отдыха; 3 — здание мобильное — офис; 4 — здание мобильное супервайзера; 5 — здание мобильное мастера буровой; 6 — здание мобильное — столовая; 7 — здание мобильное — кухня; 8 — здание мобильное — склад; 9 — здание мобильное — сауна; 10 — здание мобильное — сушилка; 11 — душевая-туалет

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579 (с изм. от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ).
2. Об утверждении Временных положения и классификаций: приказ Минприроды России от 07.02.2001 г. № 126 // Природно-ресурсные ведомости. — Июнь 2001. — № 23.
3. ВСН 199–84. Проектирование и строительство временных поселков транспортных строителей : утв. Минтрансстроем СССР 13.11.84 г. БВ-1518; введ. 01.03.84 г. — М. : ВПТИТрансстрой, 1985.
4. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 174; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009 (с изм. № 1 от 27.05.2011 г., приказ МЧС России № 266).

Материал поступил в редакцию 31 января 2013 г.

English

SITING OF BUILDINGS, CONSTRUCTIONS AND INSTALLATIONS ON DRILL SITES OF PROSPECTING AND APPRAISAL AND EXPLORATION DRILLING WELLS IN OIL-GAS FIELDS BASED ON FIRE REGULATIONS

SEREBRENNIKOV D. S., Chief Specialist, ООО RN-KrasnoyarskNIPIneft (RN-KrasnoyarskNIPIneft, LLC) (Partizana Zheleznyaka St., 24v, Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation; e-mail address: SerebrennikovDS@kr-nipineft.ru)

ABSTRACT

An important aspect in the development of the master plan of drilling sites for prospecting and exploration wells is to comply with fire distances between buildings, structures and outdoor use. Normalized fire break to prevent the spread of fire between the objects at the site of drilling.

Buildings, structures and outdoor installation, erected at the construction of wells, are temporary. In practice, many of the buildings, structures and installations are complete modules original equipment and move from object to object.

Fire break must be taken depending on the degree of fire resistance and structural class of fire hazard category explosion and fire hazard with the functionality to existing regulations.

It should be noted that the drilling template can be placed the following objects: a complex rig, residential town with a mobile car-houses, boiler plant, diesel generator set, diesel generator, deck with storage container, fuel storage, storage room firefighting equipment; tanks fire supply of water and so on.

The study identified and proposed ergonomic layout options for fuel storage, areas draining fuel for tanks and pump, as well as for buildings and premises in a residential town.

Proposed options provide the following benefits:

- free access to the facilities in compliance with fire and health regulations;
- lower costs for transportation and installation;
- reduced costs for installation of utilities and during operation.

Keywords: fire clearance; fire safety of oil-gas fields; sinking; fire localization; standards of fire safety.

REFERENCES

1. *Technical Regulations on Fire Safety. Federal Law No. 123-FZ.* Collection of Laws of the Russian Federation, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. On approval of the Interim Regulations and classifications. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation № 126 of 07.02.2001. *Prirodno-Resursnyye Vedomosti — Natural-Resource Statements*, June 2001, no. 23 (in Russian).
3. *Branch construction norms 199–84. Designing and construction of temporary settlements of transport facilities constructors.* Moscow, All-Union Research Institute of Transport Engineering Publ., 1985 (in Russian).
4. *Set of Rules 4.13130.2009. Systems of fire protection. Restriction of fire spread at object of defence. Requirements to spacial layout and structural decisions.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: reglament2004@mail.ru)

И. С. КУДРИН, научный сотрудник кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ivankudrin@yahoo.com)

УДК 614.841.33

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧНОСТИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

Ставится проблема необходимости воспроизведения реальной стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара и приведены результаты одного из подходов к его имитационному моделированию с использованием существующих детерминистических моделей программно-вычислительных комплексов. Показано, что результаты серии численных экспериментов наглядно свидетельствуют о высокой вероятности невыполнения нормативного требования обеспечения своевременной эвакуации людей. Предложены основы методологии нормирования параметров функционирования систем противопожарной защиты, снижающие уровень пожарного риска людей в высотных зданиях.

Ключевые слова: моделирование распространения опасных факторов пожара; эвакуация; стохастичность процесса; высотные здания.

Общие положения

Выполнение критерия обеспечения безопасности людей в высотных зданиях при пожаре $t_{эв} \leq t_{н.б} = 0,8t_{бл}$ (где $t_{н.б}$ — необходимое время эвакуации) требует моделирования процессов движения людей, определяющих время их эвакуации $t_{эв}$, и динамики распространения опасных факторов пожара (ОФП), определяющих время блокирования $t_{бл}$ путей эвакуации. Нормативно это регламентируется “Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности” (№ 123-ФЗ) [1] и осуществляется согласно методике, разработанной в соответствии с его требованиями [2].

Распространение опасных факторов пожара — сложный физико-химический процесс, начало изучения которого приходится на середину XVIII в. Это изучение заложило основы термодинамики и математической модели пожара, практическая реализация которой стала возможной лишь в последние десятилетия благодаря интенсивному развитию вычислительной техники и программного обеспечения. В противопожарном нормировании значения необходимого времени эвакуации на всех ее этапах ($t_{н.б} = 0,8t_{бл}$) впервые были приведены в СНиП II-2-80. Они были установлены [3] на основании ограниченного количества эмпирических данных происшедших пожаров. Сегодня для расчета времени бло-

кирования путей эвакуации используются интегральные, зонные и дифференциальные (полевые) модели пожара.

Модели отражают, с одной стороны, последовательные этапы развития моделирования термодинамики пожара [4–6], а с другой — имеющиеся возможности их программной реализации. Каждая из этих моделей является вехой на многотрудном пути исследований термодинамики пожара. Как известно, интегральная модель описывает изменение во времени средних по объему помещения значений параметров опасных факторов. В зонной модели объем помещения подразделяется на зоны по высоте (как правило, две), и для каждой из них описывается динамика средних значений ОФП. Наиболее подробная полевая модель дифференцирует пространство на элементарные объемы-кубы и описывает динамику значений ОФП в каждом из них, давая тем самым наиболее точную картину изменения значений ОФП в любом возможном месте нахождения человека. Степень точности полевой модели зависит, в том числе, и от величины элементарных объемов, т. е. от размеров ячеек пространственной сетки, используемой для дифференциации объема помещения.

Широкое практическое применение полевой модели стало возможным с развитием компьютерной техники, которая позволила преодолеть сложности

ее математического аппарата и избавила от необходимости выполнения множества расчетных операций. Сегодня имеются программные комплексы, реализующие эту модель, и грамотный пользователь может, не вдаваясь в тонкости описания каждым из них сути реальной динамики ОФП, применить их для определения времени $t_{н.б}$, которым располагает человек для своевременной эвакуации ($t_{эв} \leq t_{н.б} = 0,8t_{бл}$), находясь на любом из ее этапов (помещение, этаж, лестничная клетка).

В России полевая модель впервые была разработана и представлена в диссертации А. М. Рыжова [7], написанной под руководством Ю. А. Кошмарова. Далее, значительно повлияли на развитие полевой модели исследования И. Ф. Астаховой, С. В. Пузача и др. Однако сегодня *программное обеспечение модели отсутствует как в свободном доступе, так и для коммерческого пользования.*

Среди зарубежных программ можно выделить программы универсальные (ANSYS CFX, FLUENT, STAR-CD) и специализированные (JASMINE, SOFIE, SMARTFIRE, PHOENICS и FDS). Из тех, которыми есть возможность пользоваться в России, выделим SMARTFIRE, FDS и SOFIE. Однако SMARTFIRE и SOFIE — это коммерческие программы. Лишь программа FDS (Fire Dynamics Simulator, Version 5) является свободно распространяемой, благодаря чему она может применяться широким кругом пользователей в различных странах. Это обеспечивает воспроизводимость результатов, полученных разными авторами, и возможность совместного поиска рационального решения общих задач обеспечения безопасности людей при пожаре. Именно поэтому при анализе вероятных значений $t_{бл}$ в высотных зданиях было использовано программное обеспечение FDS.

Из технического руководства FDS следует, что программа основана на решении уравнения Навье–Стокса, и все уравнения, требуемые [2] для реализации полевого метода расчета, представлены в качестве основополагающих (уравнение сохранения массы, энергии, импульса, химического компонента). Кроме того, немаловажным является и тот факт, что модель FDS успешно прошла оценочные испытания — валидацию и верификацию.

Во всех вариантах моделирования распространение опасных факторов пожара описывается как детерминированный процесс. Стремление к детерминированному описанию (из-за его простоты) традиционно, но если требуется точность прогнозирования с вероятностью 0,999, то этого описания становится недостаточно, поскольку время наступления предельно допустимых для человека значений ОФП определяется по результатам расчета лишь одной реализации процесса их распространения.

Экспериментальная проверка моделей динамики ОФП, когда исходные данные для теоретических расчетов совпадают с исходными данными в эксперименте, позволяет судить только о корректности самой модели. При решении же задач по обеспечению безопасности людей стоит задача не только правильно воспроизвести динамику процесса при заданных условиях, но и *спрогнозировать возможную ситуацию при вероятных вариациях реальных условий*, зависящих от множества меняющихся факторов и их сочетаний. Стремлением избежать ошибки при нормировании параметра $t_{н.б}$ в сторону его увеличения можно объяснить то, что расчетное время наступления предельно допустимых (критических) значений ОФП $t_{кр}$ умножается на коэффициент $K = 0,8$. Однако, для того чтобы обоснованно принимать значение этого коэффициента, необходимо знать распределение случайной величины $t_{кр}$, которое описывается ее дисперсией $\sigma_{t_{кр}}^2$ для различных ситуаций.

Методологической особенностью представленного исследования является учет стохастичности динамики распространения опасных факторов пожара. Стохастичность этого процесса обуславливается как случайностью значений реальной пожарной нагрузки, так и реальной стохастичностью моделируемой газозоогазозной среды.

Случайные факторы, влияющие на параметры ОФП, можно разделить на две группы: свойства пожарной нагрузки и стохастичность условий формирования газозоогазозной среды.

Количественный и качественный состав пожарной нагрузки в реальной ситуации может отличаться от его расчетных значений, даже для ее однотипных видов. Физическая нестабильность параметров пожарной нагрузки и определяет, в первую очередь, разброс фиксируемых значений ее пожарнотехнических характеристик.

Так, например, давно экспериментально показано [8], что для комбинированной пожарной нагрузки дымообразующая способность D_k определяется по формуле

$$D_k = \sum_i^k D_i M_i / M_o, \quad (1)$$

где k — количество компонентов пожарной нагрузки;
 D_i — дымообразующая способность i -го компонента;

M_i — масса i -го компонента пожарной нагрузки;

M_o — масса всей пожарной нагрузки.

Из формулы (1) очевидно, что расчетный показатель дымообразующей способности D_k находится в прямой количественной зависимости от многообразия возможных сочетаний компонентов всей пожарной нагрузки.

О неоднозначности свойств материалов пожарной нагрузки свидетельствуют данные по их характеристикам, полученные из различных литературных источников. Они показывают, что свойства одного и того же материала существенно меняются в зависимости от его агрегатного состояния, обработки, размещения и т. п. Так, например, может быть рассмотрена типичная для высотных конторских зданий (Ф4.3) пожарная нагрузка, состоящая из мебели, книг и бумаги. Низшая теплота сгорания такой пожарной нагрузки может быть принята постоянной $Q_n^p = 13400$ кДж/кг. Постоянными принимаются также значения: коэффициента полноты сгорания $\eta = 1$; коэффициента потерь тепла на нагрев ограждающих конструкций $\varphi_n = 0,55$; эмпирического коэффициента приведения среднеобъемной температуры к уровню рабочей зоны $\alpha = 1,3$; высоты рабочей зоны $h = 1,5$ м; критической температуры на уровне рабочей зоны $t_{кр} = 343$ К. В качестве случайных рассматриваются только две величины: линейная скорость выгорания $V_{л}$ и массовая скорость выгорания ψ_v . Распределение вероятности значений в интервалах их возможных изменений $V_{л} \in [0,02; 0,07$ м/с], $\psi_v \in [0,003; 0,012$ кг/(м²·с)] принято равномерным. При помощи генератора случайных чисел производится 300 расчетов (реализаций) при значениях $V_{л}$ и ψ_v , выбираемых из указанных интервалов их возможных изменений [9]. На рис. 1 представлена гистограмма распределения плотности вероятности значений ОФП, полученная в результате расчетов.

Как видно на рис. 1, распределение плотности вероятностей значений $t_{кр}$ асимметричное, имеющее минимальное значение $t_{кр}^{\min} = 192$ с и математическое ожидание $m(t_{кр}) = 318$ с. Если же произвести детерминированный расчет времени $t_{кр}$ при средних значениях $V_{л} = 0,045$ м/с и $\psi_v = 0,0075$ кг/(м²·с), то получим: $t_{кр} = 322$ с и, соответственно, $t_{н.б} = 258$ с. Как видно, данное значение $t_{н.б}$ более чем на треть превышает возможное значение $t_{кр}$ и, следовательно,

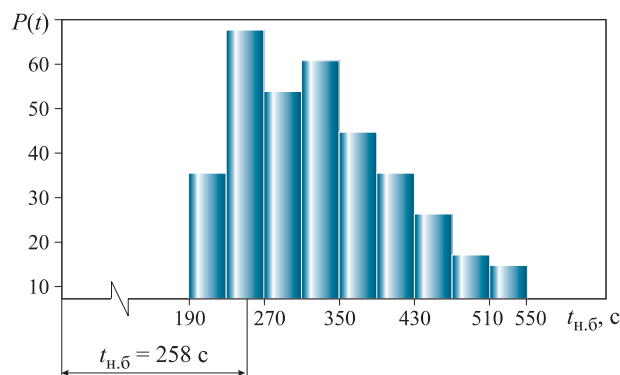


Рис. 1. Гистограмма распределения времени наступления критических значений опасных факторов пожара с учетом коэффициента безопасности 0,8 ($t_{н.б}$) в помещении объемом 17500 м³ на уровне 1,5 м

значительно занижает уровень опасности воздействия ОФП, вводя тем самым в заблуждение и разработчиков систем активной противопожарной защиты, и их потенциальных приобретателей, и пользователей.

С юридической точки зрения такое положение находится в явном противоречии с требованиями ст. 3 Федерального закона “О техническом регулировании” (№ 184-ФЗ) [10].

Оценка влияния на величину необходимого времени эвакуации стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара на основе существующих методов его моделирования

Влияние стохастичности процесса распространения ОФП, проявляющееся в изменениях динамики газовой среды, сложно подвергнуть анализу прежде всего из-за трудностей, если не сказать, невозможности, их целенаправленного регулирования в натурных условиях. В данном же случае рассматривается влияние на время блокирования путей эвакуации стохастичности термодинамического состояния газовой среды, определяемой параметрами функционирования и размещения элементов систем противодымной вентиляции и пожаротушения.

В связи с этим было организовано несколько серий экспериментов численного моделирования процесса по программе FDS, кинематические изменения которого имитировались за счет различных вариантов расположения клапанов противодымной защиты в рассматриваемом объеме, изменения их производительности и систем пожаротушения. Оценка влияния этой “рукотворно создаваемой” стохастичности дает возможность приблизиться к установлению пессимистических значений $t_{бл}$ и определить количественные показатели требований к системам противопожарной защиты высотных зданий, способствующие реальному выполнению условия $t_{эв} \leq 0,8t_{бл}$ при вероятных параметрах движения людских потоков во время эвакуации ($t_{эв}$) из высотных зданий последовательно на всех ее этапах.

Первый этап. Опасные факторы пожара в помещениях

Помещение — наиболее вероятное место возникновения очага пожара. В качестве объекта исследования использовалась модель помещения (рис. 2) размером 4×6 м с размещением типовой [6] для офисных помещений пожарной нагрузки — мебели (столы, стулья, шкафы). Влияние атмосферной среды допустимо считать, как правило, незначительным ввиду высокой требуемой степени изоляции микроклимата искусственной среды высотного здания за счет герметизации его ограждающих конструкций.

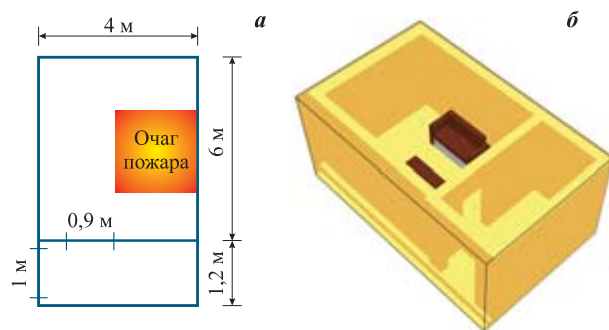


Рис. 2. Помещение для моделирования ОФП: а — план моделируемого помещения; б — моделируемое помещение в графическом редакторе Pyrosim

Исходная позиция для моделирования — развитие пожара в начальной стадии. Это значит, что внутри зоны горения возникшего неконтролируемого очага пожара и вокруг нее температура такова, что скорость тепловыделения превышает скорость отвода тепла из зоны горения, чем обуславливается самоускорение процесса горения. В результате такого развития процесса постепенно, в несколько фаз, происходит распространение пламени на все помещение. Поэтому распределение значений параметров опасных факторов пожара по объему помещения неравномерное.

В качестве контрольной точки значений ОФП установлена точка на выходе из помещения на высоте 1,7 м, поскольку при достижении в ней критического значения одного из опасных факторов пожара безопасная эвакуация человека из помещения становится невозможной.

Задача моделирования первого варианта развития пожара — определить время $t_{кр}$ достижения критического значения ОФП в контрольной точке при нефункционирующих системах противодымной защиты и пожаротушения. Результатом этого варианта моделирования будет выявление условий, при которых может быть выполнено следующее требование: “эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную эвакуацию людей через эвакуационные выходы из данного помещения без учета применяемых в нем средств пожаротушения и противодымной защиты”, впервые введенное СНиП 21-01-97 “Пожарная безопасность зданий и сооружений” (п. 6.4).

Согласно требованиям (ст. 56. ч. 1) [1] “система противодымной защиты здания, сооружения или строения должна обеспечивать защиту людей на путях эвакуации и в безопасных зонах от воздействия опасных факторов пожара в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, или всего времени развития и тушения пожара посредством удаления продуктов горения и термического разложения и (или) предотвращения их рас-

пространения”. Поэтому задача моделирования второго варианта развития пожара состоит в определении целесообразного местоположения клапана системы дымоудаления и влияния его производительности (расхода воздуха) на увеличение значения параметра $t_{кр}$.

Задача моделирования третьего варианта развития пожара вытекает из следующих требований ст. 61, ч. 2 [1]: “Автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать достижение одной или нескольких из следующих целей: 1) ликвидация пожара в помещении (здании) до возникновения критических значений опасных факторов пожара...”. Поэтому задача моделирования третьего варианта развития пожара состоит в определении условий, при которых система АУПТ спринклерного типа (рис. 3) может обеспечить достижение этой цели.

Результаты моделирования пожара в помещении без функционирующих систем противопожарной защиты показывают, что фактором, значения которого первыми достигают критического уровня воздействия на людей, является потеря видимости.

Результаты расчетов распространения ОФП при моделировании трех перечисленных вариантов развития пожара в помещении приведены в табл. 1.

Как показывают опросы людей, находившихся вблизи очага пожара, около 20 % из них тушили пожар, что называется, “до последней возможности”. Когда же исчерпываются у человека последние возможности тушить пожар? Очевидно, тогда, когда воздействие ощущаемых факторов пожара достигает “терпимых” пределов. Для случая, когда эти пределы соответствуют значениям критических уровней воздействия ОФП, в табл. 2 приведены значения времени их наступления $t_{кр}$ в плоскости вблизи очага пожара.

Данные табл. 2 показывают, что первым ощущаемым человеком опасным фактором пожара в помещениях различной площади является концентрация дыма, уменьшающая предел видимости. И хотя имеются данные [11] о возможности движения человека в дыму при видимости менее 5 м, следует обратить внимание на то, что через несколько секунд

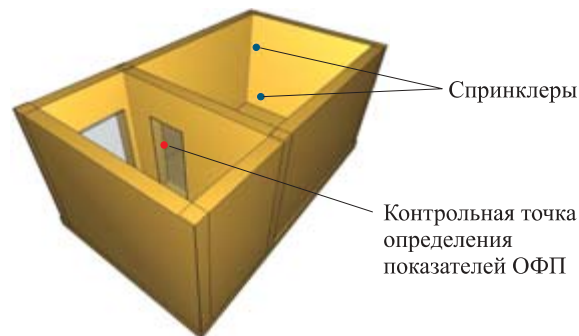


Рис. 3. Схема расстановки спринклеров в помещении

Таблица 1. Результаты вариантов моделирования пожара в помещении

Меняющийся параметр	Значение параметра	Расположение в помещении	Время наступления критического значения ОФП на выходе из помещения $t_{кр}$, с
Без систем противопожарной защиты	—	—	35,1
Расход воздуха через клапан дымоудаления	5 м ³ /с	Стена, противоположная выходу	65,4
	8 м ³ /с	То же	139
	9 м ³ /с	“	179
	10 м ³ /с	“	Н/н*
	11 м ³ /с	“	Н/н
Расход спринклерной системы	1,76 л/с	—	35,1
	6,7 л/с	—	35,1
	1,76 л/с**	—	Н/н

* Н/н — не наступает.

** В данном примере рассматривается применение автоматической установки спринклерного пожаротушения с принудительным пуском, срабатывающей от дымового пожарного извещателя с уменьшенным временем инерционности до 5 с.

воздействие на него неощущаемого НСИ достигает критических значений. При сокращении нормируемого предела видимости до 10 м воздействие НСИ становится первым критическим фактором в помещениях любого объема. Исходя из этих соображений нормирование значения $t_{н,э}$ для помещений очага пожара по потере видимости на расстоянии 20 м получает дополнительную аргументацию.

В зависимости от площади помещения очага пожара F значение $t_{кр}$ (с), нормируемое исходя из этих соображений, может быть определено по формуле

$$t_{кр} = 19,56 + 0,227F. \quad (2)$$

Как видно из сказанного выше, человек располагает весьма ограниченным резервом времени для тушения пожара, поэтому из помещений очага по-

жара в большинстве случаев целесообразно эвакуироваться.

Второй вариант моделирования позволяет определить рациональное размещение клапана системы дымоудаления в помещении. При этом расход принимался согласно данным [12]. В ходе моделирования положение клапана регулировало направление воздушных потоков, обеспечивая таким образом смешивание продуктов горения со свежим воздухом, притекающим в помещение. В этой серии экспериментов был выбран вариант расположения клапана, при котором опасные факторы пожара в помещении наступают за наибольшее время: на стене, противоположной относительно входа в помещение, на высоте 1,5 м от уровня пола.

После того как было установлено оптимальное положение клапана, определялись количественные показатели системы дымоудаления. Расход воздуха повышался до таких значений, при которых опасные факторы пожара перестали выходить за пределы помещения. Для данного помещения требуемый расход воздуха через клапан дымоудаления, как видно из табл. 1, составил 10 м³/с.

Данные третьего варианта моделирования пожара в помещении позволили установить два показателя: момент времени достижения температуры срабатывания спринклерного оросителя и время, требуемое для локализации горения.

В результате было установлено, что АУПТ срабатывает после достижения опасными факторами пожара критических значений. Это объясняется тем, что спринклерная система срабатывает от теплового воздействия, которое наступает позже потери видимости. Кроме того, после достижения температуры срабатывания оросителя необходимо учитывать время инерционного действия (номинальное время срабатывания). Только после этого происходит вскрытие колбы и поступление огнетушащего вещества в очаг пожара. Согласно ГОСТ Р 51043–2002 время инерционного действия оросителя составляет 300 с.

Отсюда следует, что для выполнения требований [1] о недопущении распространения пожара за пределы помещения и об удалении продуктов горе-

Таблица 2. Время $t_{кр}$ (с) наступления критических значений ОФП в любой точке помещения площадью от 10 до 50 м²

Площадь, м ²	Видимость, м			НСИ	Повышенная температура	Тепловой поток	O ₂	CO ₂	CO
	20	10	5						
10	19,9	28,9	38,7	20,3	44,0	88,5	96	—	—
20	24,7	38,5	46,4	29,6	53,0	138,6	120	—	—
30	26,8	42,2	52,6	31,2	61,2	160,2	141	—	—
50	33,0	50,8	60,6	43,0	73,8	200,0	160	—	—

ния для безопасной эвакуации людей возможно одно из двух решений:

1) разработка установки спринклерной системы, срабатывающей от термочувствительных спринклерных оросителей с гораздо более низким номинальным временем срабатывания, и устройство системы дымоудаления, которая будет рассчитана на удаление количества дыма, образовавшегося до срабатывания системы пожаротушения;

2) установка автоматической системы пожаротушения, срабатывающей от дымовых пожарных извещателей с минимальным временем инерционности [13], что позволит обеспечить быструю локализацию и ликвидацию горения до достижения опасными факторами пожара критических уровней воздействия на людей.

Второй этап. Распространение ОФП по этажу пожара

Если пожар не удастся локализовать в помещении, то образовавшаяся газозвдушная смесь опускается ниже верхней отметки двери, после чего опасные факторы пожара проникают в смежные помещения, коридор и распространяются в пределах этажа. Так же, как и на первом этапе моделирования, *основной задачей числового эксперимента является поиск решений, ограничивающих распространение опасных факторов пожара.*

При проведении моделирования были рассмотрены такие активные противопожарные системы, как система дымоудаления из коридоров и автоматическая установка пожаротушения. В качестве исследуемого объекта был выбран этаж с коридорным типом планировки (как наиболее распространенный в высотных зданиях). Геометрические параметры помещения с очагом пожара, а также горючая нагрузка в нем были приняты такими же, как и при моделировании пожара в помещении. Длина коридора 40 м, ширина 1,2 м. По всей длине коридора с шагом 6 м расставлены контрольные точки, определяющие значения опасных факторов пожара (рис. 4).

После моделирования пожара без применения систем противопожарной защиты осуществлялся *подбор местоположения дымового клапана в коридоре.* В результате моделирования девяти различных вариантов пожара клапан дымоудаления был распо-

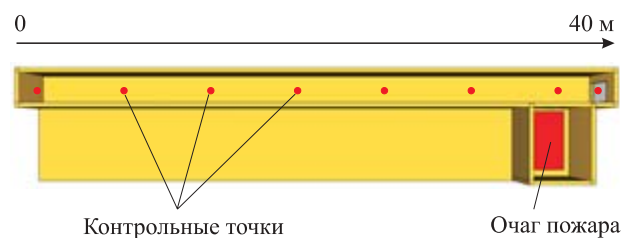


Рис. 4. Моделирование распространения опасных факторов пожара в пределах этажа

ложен на стене напротив помещения на высоте 2 м от пола.

Следующая задача данного этапа моделирования состояла в *определении оптимального режима функционирования системы противодымной защиты*, исходя из требования обеспечения нераспространения опасных факторов по коридору этажа пожара до завершения процесса эвакуации с него людей. Для анализа возможностей выполнения этого условия варьировались: расположение помещения — источника ОФП и расходы системы дымоудаления (от нормативного значения 3,3 до 100 м³/с). В результате было установлено, что при использовании системы противодымной защиты с нормативной производительностью удаления дыма время достижения критических уровней воздействия ОФП увеличивается на 34 % по сравнению с тем, которое было получено без использования системы, хотя система и не обеспечила полного удаления продуктов горения. При повышении производительности системы эта разница увеличилась в 2–3 раза, однако для полного удаления продуктов горения потребовались бы огромные расходы, равные 80–100 м³/с, что превышает нормативные в 30 раз!

В связи с этим было также проведено *моделирование пожара при использовании системы дренчерной завесы перед входом в помещение очага пожара.* Из результатов семи вариантов моделирования стало очевидно, что увеличение производительности этой установки не дает требуемого эффекта (разница по времени наступления опасных факторов пожара при применении системы с нормативным расходом и без нее составила всего 9 %, а при увеличении расходов — лишь 45 %). Поэтому было рассмотрено ее *функционирование в комбинации с системой дымоудаления.* Объединение двух систем позволило достичь увеличения времени наступления ОФП в 1,3 раза, но, тем не менее, не обеспечило нераспространение продуктов горения по этажу. Это объясняется тем, что при большой площади пожара, которая образуется за 3–4 мин, продукты горения распространяются за пределы помещения и блокируют коммуникационные пути на этаже, вне зависимости от работы систем противопожарной защиты.

Итоговые результаты рассмотренных вариантов приведены в табл. 3.

Использование различных активных систем противопожарной защиты и значений параметров их функционирования, возможные варианты размещения помещения очага пожара в коридоре определяют различные значения времени наступления опасных факторов пожара в каждой из контрольных точек. Полученные значения времени были сведены в общий график, представляющий собой область, каждая точка которой определяет: по оси ординат

Таблица 3. Результаты моделирования ОФП на этаже пожара

Меняющийся параметр	Значение меняющегося параметра	Расположение		Время наступления критического значения ОФП, с, в контрольных точках измерения							
		помещения	клапана дымоудаления	GAS 1	GAS 102	GAS 103	GAS 104	GAS 105	GAS 106	GAS 107	GAS 108
Без систем противопожарной защиты Изменение расположения очага пожара и клапана дымоудаления	–	–	–	108,9	100,8	91,5	83,4	91	90	59,7	50,4
	–	Конiec коридора	Конiec коридора	78,4	121,9	105,2	116,7	127,4	137,4	147,4	147
	–	То же	Середина коридора	55,6	80,8	85,2	120,8	101,5	113,5	120,3	122
	–	“	Начало коридора	55,6	79,8	85,2	88,6	84,6	92,4	114,5	114
	–	Середина коридора	Конiec коридора	101,7	117	114,9	65,5	90,6	89,1	95,4	102
	–	То же	Середина коридора	115,6	132,7	140,7	150	127,3	120,7	115,5	116
	–	“	Начало коридора	90	99,2	102,6	106,8	117	114,4	115,2	115
	–	Начало коридора	Конiec коридора	102	113,4	108,3	104,4	114,1	100	67,5	74
	–	То же	Середина коридора	117,7	111,9	123,8	121,2	88,9	100	69,5	78
	–	“	Начало коридора	142,5	134,5	123,9	137,2	142,5	150	59,8	84
Расход воздуха через клапан дымоудаления	3,3 м³/с	“	Конiec коридора	102	112	104	100,2	115	84,3	66,9	74,1
	6,6 м³/с	“	То же	100,5	95,1	88,8	78,9	76,5	70,5	87,9	111
	10 м³/с	“	“	108	86,7	86,7	85,5	87,6	91,2	124,8	177
	10 м³/с	“	Потолок в конце коридора	121	92,7	85,5	85,2	87	86,1	122,4	185
	30 м³/с	“	Стенка в конце коридора	138	108	92,1	111,6	130,5	130	Н/н*	Н/н
	30 м³/с	“	Стенка в коридоре перед помещением	259	287	300	300	280	221	Н/н	Н/н
	30 м³/с	“	Потолок в коридоре перед помещением	229	240	199,5	192,3	158,4	165	Н/н	Н/н
	40 м³/с	“	То же	157	163,5	169,2	151,5	156,6	234	Н/н	Н/н
	50 м³/с	“	“	174	183	175,2	173,4	171,3	177,3	Н/н	Н/н
	100 м³/с	Начало коридора	Потолок в коридоре перед помещением	н/н	н/н	240	239	219	210	Н/н	Н/н
Расход дренчерной системы пожаротушения (дренчерная завеса)	1 л/с	То же		124,8	116,1	106	97,5	100,6	108,4	60	60
	2 л/с	“		131,4	124	113	103,8	108	112,2	69,3	63,6
	3 л/с	“		140,7	131,7	121,2	111	115	117,3	67,8	69
	10 л/с	“		160	150,3	140,7	132,9	124,8	100,2	71,1	77,4
	20 л/с	“		169	158	146,7	141	125,1	104,7	85,2	84,3
	50 л/с	“		182	171,6	160,5	150,3	138,6	105,6	91,5	70,2
	100 л/с	“		196	186	173,7	162	126	111,6	85,2	71,4
Расход воздуха через клапан дымоудаления; расход дренчерной системы пожаротушения (дренчерная завеса)	3,3 м³/с; 1 л/с	“	Конiec коридора	140	124,5	113,4	103,2	92,7	83,1	71,7	126,3
	30 м³/с; 10 л/с	“	То же	118,5	107,4	111,6	112,5	177,6	180,9	Н/н	Н/н

* Н/н — не наступает.

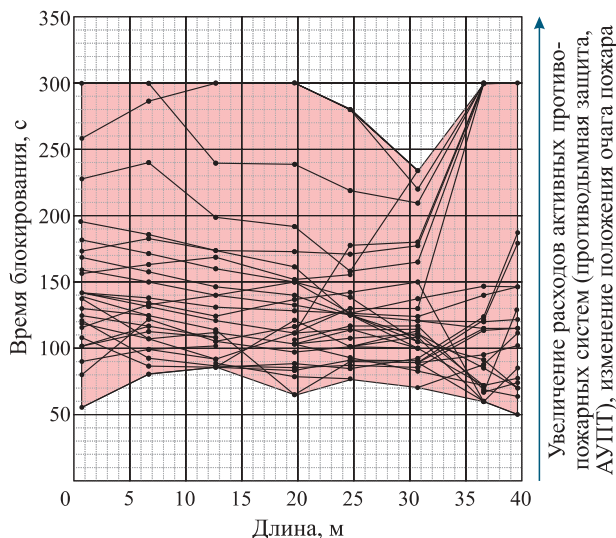


Рис. 5. Область решений по выбору систем обеспечения пожарной безопасности

— время наступления опасных факторов пожара в зависимости от производительности используемых средств противопожарной защиты, по оси абсцисс — местоположение точки по длине коридора (рис. 5).

Этот график дает возможность определить требуемые значения параметров функционирования противопожарных систем для обеспечения необходимого времени на каждом участке пути эвакуации по коридору этажа пожара.

Третий этап. Распространение ОФП в блоке этажей высотного здания, объединенных лестничной клеткой

Лестничная клетка является основным этапом, определяющим продолжительность эвакуации людей из высотного здания. В то же время лестничная клетка представляет собой аэродинамический канал, интенсифицирующий распространение опасных факторов пожара по смежным этажам высотного здания. Ввиду того что в лестничной клетке не устанавливается система пожаротушения, при моделировании пожара рассматривается действие только системы противодымной защиты. Поскольку аэродинамический режим лестничной клетки зависит от количества и расположения открытых в нее выходов с этажей, то моделирование распространения ОФП по лестничной клетке при функционировании системы противодымной защиты проводилось с учетом различных алгоритмов эвакуации людей (эвакуация с одного этажа, одновременная эвакуация со всех этажей, поэтапная эвакуация).

В качестве модели использовался блок из девяти этажей, план каждого из которых соответствовал схеме предыдущего этапа численного эксперимента. Объектом исследования распространения опасных факторов пожара была незадымляемая лест-

ничная клетка с подпором воздуха при пожаре. Для учета возможных утечек воздуха с этажа через инженерные сети, оконные проемы и конструктивные неплотности в модель был введен открытый проем площадью $0,5 \text{ м}^2$ в конце коридора каждого этажа.

Количество сценариев моделирования определялось исходя из этажа размещения пожарной нагрузки, количества открытых дверей (от 1 до 9), открытого (закрытого) выхода наружу, открытого (закрытого) проема для утечки воздуха. Такое количество переменных определило необходимость моделирования 36 вариантов развития пожара в 9-этажном блоке высотного здания, что при использовании одного ПК средней производительности потребовало 2,5 месяцев работы (табл. 4).

Анализ результатов, представленных в табл. 4, показывает следующее. Система противодымной защиты оказывается эффективной только в том случае, если все двери на этажи, кроме дверей этажа пожара, закрыты.

Это вполне ожидаемый результат, поскольку система противодымной защиты незадымляемых лестничных клеток традиционно рассчитывается исходя из следующих нормативных положений: “Для защищаемых лестничных клеток нижнее значение избыточного давления следует принимать с учетом совместного действия приточной и вытяжной противодымной вентиляции. При этом расчетное положение дверей защищаемых лестничных клеток необходимо предусматривать в сочетании “открытая дверь на уровне этажа пожара и закрытые остальные двери” или в сочетании “открытая дверь наружного выхода и закрытые остальные двери” [14].

При этом следует учитывать, что если все двери, включая и двери выхода с этажа пожара, закрыты, то в лестничной клетке образуется чрезвычайно высокое избыточное давление. Натурные эксперименты, проведенные в 20-этажном офисном здании “Роснефть” (Москва, Дубининская ул., 31), показали, что усилие, необходимое для открывания двери, достигает 1160 Н (или 580 Па). Такую дверь не под силу открыть даже взрослому здоровому мужчине (необходимы стравливающие воздух клапаны, срабатывающие при превышении нормативного значения давления в лестничной клетке).

В последующих экспериментах, когда была открыта дополнительно входная дверь, продукты горения начали проникать с этажа сначала в лестничную клетку, а затем через дверь наружу, за пределы здания.

Далее, чем больше открывалось дверей на этажах, тем больше ослабевал подпор воздуха в лестничной клетке. Так, когда двери со всех этажей были открыты, дым начинал постепенно подниматься вверх по лестничной клетке: сначала дым заполнил этаж, который располагался над этажом пожара, затем

Таблица 4. Результаты моделирования ОФП в блоке этажей

Номер эксперимента	Открытые дверные проемы на этаже на лестничную клетку/Оконные проемы на рассматриваемом этаже										Этаж пожара	$t_{кр}$, с, на лестничной площадке
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Улица		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Без ПДЗ	+/-									—	1	50
1	+/-										1	Н/н
2	+/-									+	1	99,6
3	+/+									+	1	123
4	+/-	+/-								+	1	170
5	+/+	+/+								+	1	127,2
6	+/-	+/+	+/+							+	1	104,4
7	+/-	+/+	+/+	+/+						+	1	106,8
8	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+					+	1	106,2
9	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+				+	1	97,8
10	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+			+	1	101,4
11	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	—	1	97,2
12	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+	1	100,8
13	+/-										5	Н/н
14					+/-					+	5	109,2
15					+/+					+	5	114
16					+/-	+/-				+	5	116,4
17					+/+	+/+				+	5	102,6
18				+/+	+/-	+/+				+	5	109,8
19			+/+	+/+	+/-	+/+				+	5	94,8
20			+/+	+/+	+/-	+/+	+/+			+	5	109,2
21			+/+	+/+	+/-	+/+	+/+	+/+		+	5	117,6
22		+/+	+/+	+/+	+/-	+/+	+/+	+/+		+	5	89,4
23		+/+	+/+	+/+	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	—	5	99
24	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+	5	89,4
25	+/-										9	Н/н
26									+/-	+	9	108,6
27									+/+	+	9	133
28								+/-	+/-	+	9	82,8
29								+/+	+/+	+	9	108,6
30							+/+	+/+	+/-	+	9	91,8
31						+/+	+/+	+/+	+/-	+	9	90,6
32					+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+	9	96
33				+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+	9	93,6
34			+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+	9	82,2
35		+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	—	9	88,2
36	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/-	+	9	98,4

Примечания.

- В графах 2–11 знак “+” означает открытый дверной или оконный проем, а знак “—” — закрытый.
- Красным цветом в таблице выделены строки, данные в которых относятся к этажу пожара.

последовательно вышерасположенные этажи. Пример распространения опасных факторов пожара (см. табл. 4, эксперимент № 12) в первые 4 минуты (при одновременной эвакуации — все двери на этажи открыты) дает следующие изменения ситуации с интервалами времени 1 мин:

- *1-я минута:* пожар распространяется в пределах этажа и не выходит в лестничную клетку;
- *2-я минута:* дым заполнил коридор этажа пожара и частично попал в лестничную клетку; большая часть дыма выходит из здания через выход наружу благодаря работе системы подпора воздуха;
- *3-я минута:* подпора воздуха в лестничной клетке недостаточно, и дым распространился по ней на вышележащие этажи, создав среду, неблагоприятную для нахождения человека;
- *4-я минута:* дым распространился по лестничной клетке и попал на вышележащие этажи вблизи этажа пожара. На 1–4-м этажах значения опасных факторов пожара достигли критических.

Заключение

Распространение опасных факторов пожара имеет стохастическую природу, определяемую как неоднозначностью [9, 15] параметров пожарной нагрузки и места возникновения очага пожара, так и вариативностью термодинамики газовой среды, образующейся при пожаре под влиянием атмосферных воздействий, режимов функционирования систем противопожарной защиты и объемно-планировочной структуры помещений, являющихся каналами ее распространения и в то же время путями эвакуации людей из здания. Поэтому модели развития пожара должны использовать числовые характеристики случайных величин исходных данных, а не их детерминированные значения и воспроизводить динамику развития пожара в виде случайного процесса. В связи с этим оценка выполнения основного условия обеспечения безопасности людей при определении пожарного риска должна производиться на основании сопоставления случайных величин (рис. 6,а) времени завершения эвакуации людей $P(t_{эв})$ и времени их блокирования на путях эвакуации опасными факторами пожара $P(t_{кр})$, а не сравнения значений отдельных реализаций (рис. 6,б), полученных при детерминированных значениях параметров и зависимостях между ними в этих процессах.

Методология математического моделирования движения людских потоков основывается на его описании в форме случайного процесса, отражающего физическую и психологическую неоднородность людей в составе потока и стохастичность кинематики и динамики их движения [16–18], что нашло отражение в нормативных документах [2] в виде имитаци-

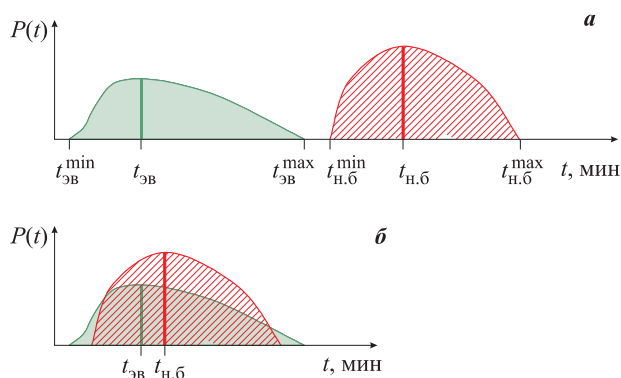


Рис. 6. Иллюстрация обеспечения условий своевременной эвакуации людей: а — при действительном развитии процессов эвакуации ($t_{эв} = t_{н.эв} + t_{р.эв}$) и опасных факторов пожара ($t_{кр}$), описываемых плотностями распределения вероятностей времени их достижения $P(t)$; б — при детерминированном описании этих процессов, игнорирующем действительный (вероятностный) характер этих процессов (соотношение только между средними значениями $t_{эв} \leq t_{кр}$)

онно-стохастической модели и имеет программное обеспечение [19].

В отличие от моделирования движения людских потоков методология моделирования распространения опасных факторов пожара использует детерминированное описание процесса, что не позволяет адекватно реальности оценить вероятность выполнения условия своевременной эвакуации людей: $P(t_{эв}) > P(t_{кр})$. Такое положение заставляет искать способы корректировки существующей методики моделирования динамики ОФП путем имитации стохастичности процесса моделирования множества вариантов (сценариев) развития пожара для установления условий обеспечения своевременной эвакуации в целях, определяемых федеральным законом [10].

Результаты имитации стохастичности процесса распространения опасных факторов путем поэтапного моделирования их динамики на последовательно расположенных участках коммуникационных помещений высотных зданий приводят к следующим основным выводам.

1. Продолжительность безопасного пребывания людей $t_{н.б.п}$ при пожаре в помещениях функциональной пожарной опасности класса Ф4.3 площадью от 10 до 50 м² при нефункционирующих системах противопожарной защиты составляет от 20 до 30 с соответственно. Время начала эвакуации людей $t_{н.эв}$ из таких помещений не должно превосходить соответствующих значений $t_{н.б.п}$.

2. Выполнение требований о недопущении распространения пожара за пределы помещения и требований ч. 2 ст. 61 [1] о ликвидации пожара до возникновения критических значений его опасных факторов в помещении обуславливает необходимость применения инновационной системы АУПТ с принудительным пуском, обеспечивающей время нача-

ла ее функционирования менее $t_{н.б.л}$ и контролирования производительности клапана ДУ с учетом площади развивающегося пожара.

3. При невозможности блокировать помещения путей эвакуации на этаже пожара от распространения в них ОФП из очага пожара выбор требуемых значений параметров функционирования систем противопожарной защиты в коридоре этажа должен осуществляться на основании построения области вероятных значений времени блокирования ($t_{н.б.к}$) коридора опасными факторами пожара (см. рис. 5) и нанесения на нее границ вероятных значений времени движения людских потоков по участкам эвакуационного пути этого этажа (рис. 7).

4. При определении вероятных значений времени блокирования коридора следует учитывать также случайный характер величины пожарной нагрузки, определяя закон распределения времени блокирования путей эвакуации в виде композиции законов распределения случайных величин характеристик пожарной нагрузки и времени распространения ОФП.

5. Алгоритм функционирования систем противоподымной защиты незадымляемых лестничных клеток должен согласовываться с алгоритмом эвакуации по ним людей с этажей высотного здания [20].

6. Для сокращения продолжительности эвакуации из высотного здания и повышения при этом безопасности людей в лестничных клетках необходима

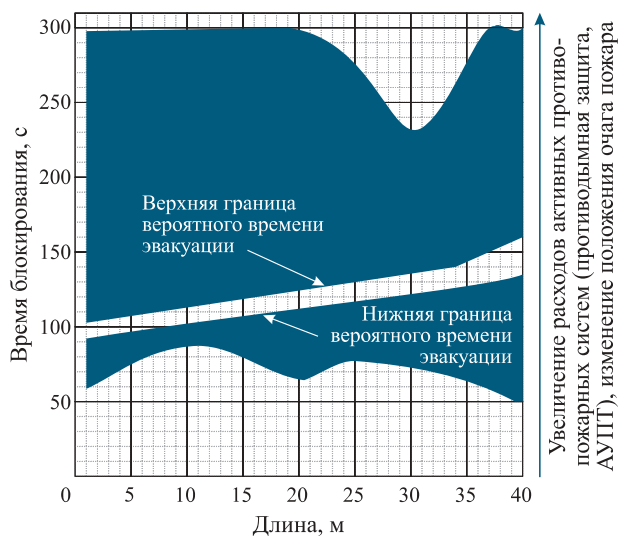


Рис. 7. Область решений по выбору требуемых значений параметров функционирования систем противопожарной защиты с учетом времени эвакуации людей

организация комбинированной (с использованием лифтов) поэтапной эвакуации людей из высотных зданий [21, 22].

7. При невозможности ограничения распространения ОФП за пределы помещения очага пожара необходимо устройство зон пожарной безопасности на каждом этаже высотного здания в составе его транспортно-коммуникационного узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382; введен 30.06.2009 г. // Российская газета. — 2009. — № 161.
3. Стрельчук Н. А., Ройтман М. Я., Башкирцев М. П., Кривошеев И. Н., Котов Н. Л. Обоснование допустимого времени эвакуации из зданий различного назначения : отчетная справка / Высшая пожарно-техническая школа МВД СССР. — М. : ВПТШ МВД СССР, 1972.
4. Кошмаров Ю. А. Развитие пожара в помещении // Горение и проблемы тушения пожаров : сб. науч. тр. ВНИИПО МВД СССР. — М. : ВНИИПО, 1977.
5. Воланин Е. Температурный режим и газообмен в помещениях в условиях пожара при горении ЛВЖ : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВПТШ МВД СССР, 1983.
6. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : АГПС МВД РФ, 2000. — 118 с.
7. Рыжов А. М. Моделирование на ЭВМ скоростных, температурных и концентрационных полей при пожарах в помещениях : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВПТШ МВД СССР, 1986.
8. Ани Э. В., Григорьев Г. Н., Леонович А. А. Дымообразующая способность древесных материалов // Безопасность людей при пожарах. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1981.
9. 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. : ВПТШ МВД СССР, 1985.
10. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.; одобрен Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245.

11. ISO/TR 16738. Пожарная безопасность — техническая информация о методах оценки поведения и движения людей. 2009.
12. Есин В. М., Сидорук В. И., Токарев В. Н. Пожарная профилактика в строительстве. — М. : ВИПТШ МВД РФ, 1995.
13. Белоусов Л., Дауэнгауэр С. Спринклерные системы водяного пожаротушения с принудительным пуском // Алгоритм безопасности. — 2009. — № 6. — С. 24–27.
14. СНиП 41-01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование : постановление Госстроя России от 26.06.2003 г. № 115; введ. 01.01.2004 г. — М. : ГУП ЦПП, 2004.
15. Костерин И. В., Присадов В. И., Лицкевич В. В. Вероятностная модель оценки времени блокирования эвакуационных путей при развитии пожара в зданиях с многосветными пространствами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 45–48.
16. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983.
17. Закономерность связи между параметрами людских потоков. Авт. В. В. Холщевников. Диплом № 24-S. Открытие в области социальной психологии. — М. : РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2004.
18. Холщевников В. В. Моделирование людских потоков // Моделирование пожаров и взрывов : кол. монография. — М. : Пожнаука, 2000. — С. 139–169.
19. Анализ движения людских потоков, вероятность. Версия 2.0 (ADLPV-2.0) : программный продукт. Госстандарт России. № РОСС RUCTI05.IT00220.
20. BS EN 12101-6:2005. Smoke and heat control systems. Part 6: Specification for pressure differential systems, 2005.
21. Холщевников В. В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1969.
22. Великовский Л. Б., Холщевников В. В. Вопросы эвакуации из высотных зданий // Архитектура СССР. — 1969. — № 1. — С. 46–49.

Материал поступил в редакцию 25 января 2013 г.

English

THE SAFE EVACUATION WITH CONSIDERATION OF THE STOCHASTIC BEHAVIOR OF THE SPREAD PROCESS IN HIGH-RISE BUILDINGS

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., Doctor of Technical Science, Professor of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: reglament2004@mail.ru)

KUDRIN I. S., Researcher of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: ivankudrin@yahoo.com)

ABSTRACT

The blocking time ($t_{n,b} = t_{ASET}$ — available safe escape time) is considered as stochastic process. It is necessary for recreation of real stochastic spreading process of dangerous fire factors. The random factors is set as an input data and divided into two groups: the characteristic of fire load and the external environment.

The results of numerical modeling of time changes $t_{n,b}$ under the possible variation of the liner (V_l) and mass (ψ_b) burnout velocity were presented for assessing the effect of the stochastic behavior of the fire load.

The placement of smoke-proof systems, its productivity, and the combined use of smoke exhaust systems and the fire suppression systems were considered as random factors of the external environment.

The software “Fire Dynamic Simulation” (FDS) was chosen for the purpose of the spreading process of dangerous fire factors. The simulation of dangerous fire factors was carried out at three stages: within the limits of premises, floor and in a block of floors.

The requirements of function parameters of firefighting systems within the limits of premises were determined at the modeling of spreading fire at the first stage that could prevent the fire spread beyond the area of rooms and exhaust the combustion products.

The data concerning the series of experiments at the second stage of fire modeling allows determining the required values of function parameters of firefighting systems in order to ensure a required time at each evacuation route segment on a floor.

Result of fire modeling at the third stage allows determining that the algorithm of smoke-proof system functioning in smoke-proof stairwells should comply with the algorithm of the evacuation of people from the floors of a high-rise building. In order to decrease the evacuation time and increase the level of people safety in stairwell one needs to organize combined (together with lifts) staged evacuation creating refuges as part of transportation communication network on each floor.

Keywords: the modeling of the fire dangerous factors; evacuation; stochastic behavior of the process; high-rise building.

REFERENCES

1. *Technical Regulations on Fire Safety. Federal Law No. 123-FZ*. Collection of Laws of the Russian Federation, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. *Russian Newspaper*, 2009, no. 161 (in Russian).
3. Strelchuk N. A., Roytman M. Ya., Bashkirtsev M. P., Krivosheev I. N., Kotov N. L. *Obosnovaniye dopustimogo vremeni evakuatsii iz zdaniy razlichnogo naznacheniya: otchetnaya spravka* [The basis of required evacuation time from buildings of different usage. Report]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1972.
4. Koshmarov Yu. A. *Razvitiye pozhara v pomeshchenii* [The fire spreading in premises]. *Goreniye i problema tusheniya pozharov: sb. nauch. tr.* [The burning and the problems of fire fighting. Collection of Scientific Papers]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1977.
5. Volanin E. *Temperaturnyy rezhim i gazoobmen v pomeshcheniyakh v usloviyakh pozhara pri goreнии LVZh: dis. kand. tekhn. nauk* [Temperature behavior and gas exchange in premises in highly-flammable liquid fire. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1983.
6. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii: uchebnoye posobiye* [The simulation of dangerous fire factors in rooms. Handbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000. 118 p.
7. Ryzhov A. M. *Modelirovaniye na EVM skorostnykh, temperaturnykh i kontsentratsionnykh poley pri pozharach v pomeshcheniyakh: dis. kand. tekhn. nauk* [The simulation of speed, thermal and concentrated fields on PC in fire in the room. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1986.
8. Ani E. V., Grigoryev G. N., Leonovich A. A. *Dymoobrazuyushchaya sposobnost drevesnykh materialov* [The smoke ability of the wood materials]. *Bezopasnost lyudey pri pozharach* [Human safety in fire]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1981.
9. Nikonov S. A. *Razrabotka meropriyatiy po organizatsii evakuatsii pri pozharach v zdaniyakh s massovym prebyvaniyem lyudey na osnove modelirovaniya dvizheniya lyudskikh potokov: dis. kand. tekhn. nauk* [The development of the activities for the organization of evacuation in fire at the buildings of the mass usage which is based on the simulation of the human flow. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1985.
10. On technical regulation. Federal Law No. 184-FZ. *Russian Newspaper*, 2002, no. 245 (in Russian).
11. *ISO/TR 16738. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people*. 2009.
12. Yesin V. M., Sidoruk V. I., Tokarev V. N. *Pozharnaya profilaktika v stroitelstve* [Fire Prevention in Construction]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1995.
13. Belousov L., Dauengauer S. *Sprinklernyye sistemy vodyanogo pozharotusheniya s prinuditelnyim puskom* [The water sprinkler system with forced start]. *Algoritm bezopasnosti — Algorithm of Safety*, 2009, no. 6, pp. 24–27.
14. Construction norms and rules 41-01–2003. *Heating, ventilation and conditioning*. Moscow, GUP TsPP Publ., 2004 (in Russian).

15. Kosterin I. V., Prasadkov V. I., Litskevich V. V. Veroyatnostnaya model otsenki vremeni blokirovaniya evakuatsionnykh putey pri razvitiy pozhara v zdaniyakh s mnogosvetnymi prostranstvami [Probabilistic model of estimation of the time of evacuation routes blocking the development from atrium at the fire in public buildings]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 45–48.
16. 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 their adjoining territories. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Construction Institute Publ., 1983.
17. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernost svyazi mezhdu parametrami lyudskikh potokov. Diplom № 24-S. Otkrytiye v oblasti sotsialnoy psikhologii* [Relationship between parameters of human flow. Diplom No. 24-S. Scientific discovery in the area of social psychology]. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences Publ., International academy of authors of scientific discovery and inventions Publ., International agency of authors of scientific discovery Publ., 2004.
18. Kholshchevnikov V. V. Modelirovaniye lyudskikh potokov [The modeling of human flows]. *Modelirovaniye pozharov i vzryvov* [The modeling of fire and explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000, pp. 139–169.
19. *Software: Analyze of Human Flow Movement, Probability. Version 2.0 (ADLPV-2.0)*. Gosstandard of Russia. No. ROSS RUCTI05.IT00220 (in Russian).
20. *BS EN 12101-6:2005. Smoke and heat control systems. Part 6: Specification for pressure differential systems*, 2005.
21. Kholshchevnikov V. V. *Optimizatsiya putey dvizheniya lyudskikh potokov. Vysotnyye zdaniya: dis. kand. tekhn. nauk* [The escape routes optimization for human flow. High-rise buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Construction Institute Publ., 1969.
22. Velikovskiy L. B., Kholshchevnikov V. V. Voprosy evakuatsii iz vysotnykh zdaniy [The questions of evacuation from high-rise buildings]. *Arkhitektura SSSR — Architecture of USSR*, 1969, no. 1, pp. 46–49.

ООО “ИЗДАТЕЛЬСТВО “ПОЖНАУКА” ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено применение требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем совершенствования технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

В качестве приложения в пособие включен СП 12.13130.2009 “Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности”.

Книга рассчитана на сотрудников проектных организаций, промышленных предприятий и складских комплексов, а также работников Государственного пожарного надзора МЧС России, занимающихся вопросами обеспечения пожарной безопасности.

Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, info@fire-smi.ru

Тел./факс: (495) 228-09-03

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

Р. Н. ИСТРАТОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.842.8+616–051

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ МЕДИКО-РЕАБИЛИТАЦИОННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПЕРСОНАЛА БОЛЬНИЦ

Проведен анализ поведения медицинского персонала больниц при различных сценариях возникновения пожара по результатам опроса 360 медработников разного возраста и пола, с различным медицинским стажем, занимающих разные должности, при помощи специально подготовленных компьютерных видео-презентаций. В результате опроса определены основные действия, выбираемые медработниками при пожаре, а также дана оценка их уровню подготовки.

Ключевые слова: больница; пожар; анализ поведения персонала; процесс эвакуации.

Главная сложность обеспечения пожарной безопасности основного функционального контингента больниц заключается в пребывании большого количества людей с пониженной мобильностью и полностью немобильных [1, 2]. Ключевым фактором в обеспечении их безопасности при пожаре являются действия медицинского персонала. От того, насколько быстро и правильно медработникам удастся принять необходимые решения и реализовать их на практике, не допустив при этом дезорганизации и паники, зависит безопасность пациентов [3].

Однако оценить вероятное поведение персонала при пожаре весьма затруднительно. Традиционные методы сбора фактического материала непригодны для решения поставленной задачи: провести натурные наблюдения и анкетирование пострадавших после пожара не представляется возможным, так как для этого необходимо ждать, пока в одной из больниц

произойдет пожар. Проведение экспериментов ограничено этическими соображениями, так как срабатывание системы оповещения, задымление и имитация возгорания могут создать стрессовую ситуацию для пациентов.

В связи с этим для оценки поведения персонала больниц при пожаре использовалась так называемая компьютерная видео-презентация, представляющая собой видеозапись моделируемой проблемной ситуации, воспроизводимой на экране монитора компьютера (рис. 1). Видеозапись начинается с демонстрации рабочей обстановки в больничном отделении (например, работы медсестры на дежурном посту), чтобы опрашиваемый мог погрузиться в привычную для него обстановку и представить себя на месте главного персонажа сюжета. Через некоторое время в соответствии со сценарием фильма в отделении неожиданно возникает пожар, на который указыва-



Рис. 1. Сценарии обнаружения пожара: *а* — срабатывание СОУЭ в ночное время; *б* — обнаружение задымления в дневное время; *в* — обнаружение пламенного горения в ночное время

ет сирена пожарной сигнализации либо появление дыма или пламенное горение*, которое обнаруживает сотрудник медицинского персонала при выполнении своих должностных обязанностей (например, при обходе отделения). В этот момент видеозапись останавливалась, и медицинский работник описывал по порядку свои действия в сложившейся ситуации. Всего было подготовлено 12 сюжетов продолжительностью 1,5–2 мин, различающихся лишь по проявлению признаков пожара, времени суток и полу медицинского работника (мужчинам демонстрировался фильм с мужчиной в роли главного персонажа, а женщинам — соответственно с женщиной).

Безусловно, такой подход к сбору эмпирических данных можно критиковать, однако полное отсутствие альтернатив и апробированность такого способа в ходе ранее проведенных исследований поведения людей в офисных [4] и торговых зданиях [5, 6] позволяют говорить о возможности применения указанного способа. Кроме того, 97,5 % опрошенных оценили такой способ моделирования ситуации как максимально приближенный к реальности.

Для исследования действий персонала при пожаре анализировалось влияние двух групп факторов на предпринимаемые персоналом действия:

- 1) социальные и физические характеристики сотрудника персонала (пол, возраст, стаж, должность);
- 2) тип сигнала о пожаре (косвенные признаки: возгорание, задымление или срабатывание системы оповещения) и время суток.

Опрос был проведен в 2010–2011 гг. среди 360 действующих медработников московских городских клинических больниц. Количество опрошенных мужчин и женщин было одинаковым; 8,3 % опрошенных были моложе 21 года, большинство опрошенных (68,1 %) — в возрасте от 21 до 40 лет, 17,2 % — от 41 до 50 лет, 6,4 % — старше 51 года. 58,3 % выборки составил высший медперсонал (лечащие врачи) и 41,7 % — младший и средний (медсестры и санитарки).

Использованная при исследовании методика сбора эмпирических данных объективно допускает возможные отклонения поведения людей в моделируемой и реальной ситуациях. Результаты ранее проведенных исследований [5, 6] показывают, что при реальном пожаре наиболее вероятно выполнение первых из описанных в экспериментальной ситуации действий (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, что при обнаружении возгорания (по сравнению с другими признаками

Таблица 1. Первые действия сотрудников при обнаружении признаков пожара

Действия медперсонала	Число респондентов, %, для каждого из трех сценариев		
	Задымление	Возгорание	Срабатывание системы оповещения
Попытка потушить пожар	15,8	38,3	7,5
Сообщение в пожарную охрану	27,5	16,7	33,3
Сообщение руководству больницы	1,7	3,3	15,8
Исследование ситуации	27,5	10,0	37,5
Оповещение персонала	27,5	30,9	5,1
Растерянность*	0	0,8	0,8
Итого, %	100,0	100,0	100,0

* Типичный ответ в этом случае: «Не знаю, что делать».

пожара) персонал действует более собранно: 85,8 % опрошенных направляют свои усилия на тушение пожара, оповещение пожарной охраны и окружающих коллег. При обнаружении задымления 27,5 % опрошенных уточняют причины, вызвавшие задымление, и пытаются установить источник возгорания. При срабатывании системы оповещения еще большее количество персонала (37,5 %) намеревается «исследовать» ситуацию, т. е. установить достоверность факта пожара и получить указания о необходимых действиях. В целом на различных этапах борьбы с чрезвычайной ситуацией до 43,9 % опрошенных будут вовлечены в сбор дополнительной информации. Таким образом, обнаружение задымления и срабатывание sireны системы оповещения вызывают наибольшее количество действий, связанных с уточнением ситуации и сбором информации о необходимых дальнейших действиях.

Следует обратить внимание на тот факт, что эвакуация пациентов отделения начинается не сразу, а, как правило, после установления факта пожара (т. е. после «исследования» ситуации), попыток борьбы с огнем, оповещения окружающих коллег, руководства и пожарной охраны.

Данные табл. 1 демонстрируют взаимосвязь между попытками тушить пожар и оповещением пожарной охраны. В случае обнаружения возгорания число людей, намеревающихся вступить с ним в борьбу, наибольшее (38,3 %), а позвонить в пожарную охрану — наименьшее (16,7 %). Отметим, что при рассмотрении всей совокупности совершаемых людьми действий оказалось, что 15 % опрошенных

* Задымление помещения осуществлялось генератором химического дыма, а видеозапись возгорания в палатах отделения — с помощью компьютерной графики.

игнорировали необходимость позвонить в пожарную охрану; свыше трети из всех опрошенных (36,7 %) указали, что предпримут попытки тушить пожар. Практика показывает, что ввиду дороговизны проведения обучения, недостатка времени и других тому подобных обстоятельств качественное обучение по пользованию первичными средствами пожаротушения не проводится. В связи с этим очевиден повышенный риск для людей, решивших тушить пожар, и неизбежные потери времени на оповещение пожарной охраны.

При сравнении поведения медработников разного пола установлено, что мужчины при возникновении пожара совершают больше действий, направленных непосредственно на борьбу с пожаром, чем женщины, и более склонны рисковать жизнью ради спасения пациентов: об этом прямо указали 91,1 % опрошенных мужчин по сравнению с 82,2 % опрошенных женщин.

Поведение медработников в дневное и ночное время также различается. В целом можно говорить о значительно большей активности персонала ночью: увеличивается количество действий, прямо направленных на оповещение, организацию эвакуации и борьбу с пожаром без согласования с вышестоящим руководством. Более того, при неявных признаках пожара (а такими являются, как показал опрос, задымление и срабатывание системы оповещения) персонал с большей вероятностью оповестит пожарную охрану по сравнению с аналогичной ситуацией в дневное время.

Выбор действий при пожаре зависит также от возраста и рабочего стажа медработников. Статистика исследований показывает, что медперсонал молодого возраста и без стажа работы, а также медработники в возрасте и с большим стажем работы менее склонны, например, к немедленному вызову пожарной охраны и эвакуации (спасению) пациентов, т. е. в целом пассивны.

При анализе полученных данных были выявлены характерные действия, совершаемые персоналом, которые существенно отличаются от действий, наблюдаемых в поведении людей при пожарах в

других общественных зданиях [4–6]. Это обусловлено тем, что больницы являются объектами со своей иерархией управления, подкрепленной должностными инструкциями и ответственностью согласно законодательству.

В ходе исследования установлено, что опрашиваемые медработники проходят противопожарное обучение. Однако анализ системы подготовки выявил, что обучение часто проводится формально и нерегулярно. Сопоставление требований должностных инструкций и действий персонала позволяет заключить, что только 36,4 % сотрудников готовы выполнить инструкцию о действиях при пожаре. Важно подчеркнуть, что наименьшее количество опрошенных (18,3 %), следовавших инструкции, — это люди, обнаружившие возгорание, что указывает на практически полную неготовность персонала к правильным действиям в такой ситуации. Полученные результаты объясняются недостаточно качественным обучением, объективными сложностями проведения учений по эвакуации с больными людьми, а также отсутствием подготовки персонала к действиям при различных проявлениях признаков пожара.

Проведенное исследование показало, что на действия медицинского персонала больниц оказывает влияние ряд факторов (способ проявления пожара, время суток, пол, возраст, стаж и др.), которые обуславливают ту или иную ответную реакцию человека. Однако все многообразие поведенческих актов следует ограничить определенным набором необходимых при пожаре действий, регламентируемых инструкцией о поведении при пожаре. Для результативного выполнения инструкции необходимо, чтобы обучаемые понимали, что требуется делать и в какой последовательности. Описанная выше методика сбора исследовательских данных может являться и элементом противопожарной подготовки — погружение в проблемную ситуацию, моделируемую с помощью видеозаписи, обсуждение действий обучаемого и их оценка являются эффективным способом обучения, что подтвердили 93,1 % участников опроса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Оценка мобильных качеств пациентов различных отделений городских клинических больниц // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 42–44.
2. Самошин Д. А., Истратов Р. Н. К вопросу о группах мобильности пациентов различных отделений городских клинических больниц // Матер. 20-й Междунар. науч.-техн. конф. “Системы безопасности”. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. — С. 336–338.
3. Scott D. Fire in an operating theatre what really happens? A case study of a fire in a private hospital in Hamilton, New Zealand // Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire. Cambridge, UK, 2009, P. 313–322.
4. Saunders W. L. Occupant decision making in office buildings fire emergencies. PhD thesis. Victoria University, Melbourne, 2000.

5. Samoshin D. A., Boyce K. E., Shields T. J. An Investigation into Staff Behaviour in Unannounced Evacuation of Retail Stores — Implication for Training and Fire Safety Engineering // Proceedings of the Eighth International Symposium “Fire Safety Science”, Beijing, China, 18–23 Sept. 2005. — P. 519–530.
6. Шильдс Д., Бойс К. Е., Холицевников В. В., Самошин Д. А. Поведение персонала торговых комплексов при пожаре. Ч. II. Действия в смоделированной ситуации “пожар в торговом комплексе” // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 3. — С. 47–58.
7. Шильдс Д., Бойс К. Е., Холицевников В. В., Самошин Д. А. Поведение персонала торговых комплексов при пожаре. Ч. III. Анализ системы подготовки персонала к действиям при пожаре и рекомендации по ее усовершенствованию // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 15, № 6. — С. 48–56.

Материал поступил в редакцию 24 января 2013 г.

English

AN EVALUATION OF MEDICAL PERSONNEL FIRE TRAINING BASE ON EXAMPLE OF HOSPITAL STAFF

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

ISTRATOV R. N., Lecturer of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

A key factor for hospital patients' safety in case of fire is staff behavior. Timely and correct decisions applied for practical solutions stipulate fire safety of vulnerable hospitals occupants. In order to research staff behavior a special technique called computer video presentation was applied. This is an edited videotape shown on computer monitor. The tape starts with normal operation of hospital ward with an aim to put staff member into the modeling situation. Following film scenario sometimes later during staff daily duties fire breaks out in the ward. It is demonstrated by fire alarm sound, flame burning or smoke spread. At this time the tape stops, and staff member was asked to describe and explain their behavior as a response to this situation. Addition scenarios were developed for day or night time operation and also with a male or female as a main character of the film. In total 12 scenarios were developed and 360 staff members were interviewed.

It has been found that type of fire cue, time of the day, gender of staff and their work experience stipulate various staff behavior. In general, only 36,4 % followed fire instructions and it is important to note that the lowest percentage of staff (18,3 %) were in the group who faced with fire, that indicates that hospital staff is less ready to deal with flame burning.

The study revealed that all variability of behavioral acts should be limited to required set of actions with deep understanding what should be done and in what order.

Keywords: hospital; fire; staff behavior analysis; evacuation procedure.

REFERENCES

1. 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]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 42–44.
2. Samoshin D. A., Istratov R. N. K voprosu o gruppakh mobilnosti patsiyentov razlichnykh otdeleniy gorodskikh klinicheskikh bolnits [Mobile groups of city hospital's patients]. *Mater. 20-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. “Sistemy bezопасnosti”* [Proceedings of 20th International Scientific and Technical Conference “System Safety”]. Moscow, 2011, pp. 336–338.

3. Scott D. Fire in an operating theatre what really happens? A case study of a fire in a private hospital in Hamilton, New Zealand. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire*. Cambridge, UK, 2009, pp. 313–322.
4. Saunders W. L. *Occupant decision making in office buildings fire emergencies*. PhD thesis. Victoria University, Melbourne, 2000.
5. Samoshin D. A., Boyce K. E., Shields T. J. An Investigation into staff behaviour in unannounced evacuation of retail stores — implication for training and fire safety engineering. *Proceedings of the Eighth International Symposium "Fire Safety Science"*. Beijing, China, 18–23 Sept. 2005, pp. 519–530.
6. Shields D., Boys K. E., Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Povedeniye personala torgovykh kompleksov pri pozhare. Chast II. Deystviya v smodelirovannoy situatsii "Pozhar v torgovom komplekse" [Behavior of the supermarket personnel at fire. Part II. Movement in a modeled situation "fire in a supermarket"]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 3, pp. 47–58.
7. Shields D., Boys K. E., Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Povedeniye personala torgovykh kompleksov pri pozhare. Chast III. Analiz sistemy podgotovki personala k deystviyam pri pozhare i rekomendatsii po yeye usovershenstvovaniyu [Behavior of the supermarket personnel at fire. Part III. The analysis of training system of personnel actions at fire and system improvement recommendations]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 15, no. 6, pp. 48–56.



Издательство «ПОЖНАУКА»

ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!

А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко
СРЕДСТВА ОГНЕ- и БИОЗАЩИТЫ
 Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.



В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вспучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.

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

Тхо Дык ХОАНГ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: duc_rccc@mail.ru)

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

УДК 614.841.33

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ В СИСТЕМАХ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

Приведена классификация оборудования, применяемого в системах оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), и основные требования к нему. Дан анализ компонентов СОУЭ.

Ключевые слова: оборудование систем оповещения и управления эвакуацией; пожарные оповещатели; перспективные системы оповещения.

Назначение, классификация и основные требования к оборудованию системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией

Основная задача системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией (СОУЭ) — своевременное оповещение людей о пожаре, а также информирование о путях безопасной и максимально оперативной эвакуации с целью предотвращения ущерба их жизни и здоровью. Оповещение людей о пожаре осуществляется передачей звуковых и/или световых сигналов в помещениях, где люди могут подвергаться воздействию опасных факторов пожара, а также в помещениях, где могут остаться люди при блокировании эвакуационных путей пожаром, трансляцией речевой информации о необходимости эвакуироваться, о путях эвакуации и действиях, направленных на обеспечение безопасности [1]. Управление эвакуацией осуществляется посредством передачи по СОУЭ специально разработанных текстов, направленных на

предотвращение паники и других явлений, усложняющих процесс эвакуации, трансляции текстов, содержащих информацию о необходимом направлении движения, включения световых указателей направления движения и дистанционного открывания дверей дополнительных эвакуационных выходов.

Большинство систем оповещения о пожаре строится по модульному принципу, поэтому в зависимости от архитектурных особенностей здания и его назначения система оповещения может включать в себя устройства, предназначенные для экстренной трансляции, или дополняться модулями, служащими для повышения качества звука.

Система оповещения людей и управления эвакуацией — это комплекс технических средств, при помощи которого согласно разработанным планам эвакуации передача сигналов оповещения обеспечивается одновременно по всему защищаемому объекту, а при необходимости — последовательно или выборочно.

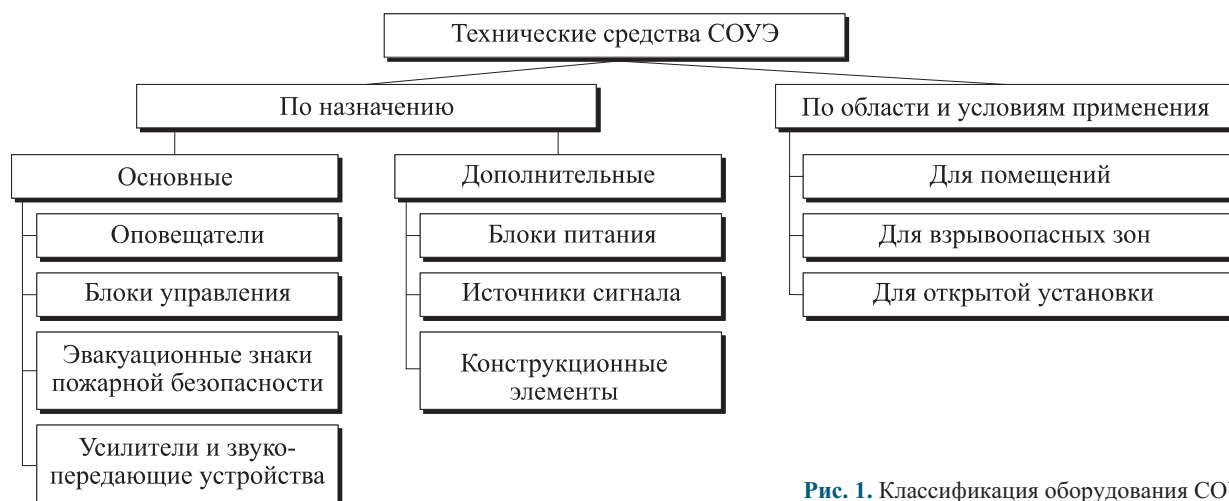


Рис. 1. Классификация оборудования СОУЭ

В системах оповещения и управления эвакуацией используется разнообразное оборудование, классификация которого приведена на рис. 1.



Рис. 2. Пример СОУЭ 1-го типа



Рис. 3. Пример СОУЭ 2-го типа



Рис. 4. Пример СОУЭ 3-го типа с одной зоной оповещения

В зависимости от характера выдаваемых сигналов системы оповещения подразделяют на *световые*; *звуковые*; *комбинированные*; *системы речевого оповещения*.

В состав оборудования систем оповещения СО-1 и СО-2 входят: световые, звуковые, светозвуковые оповещатели, таблички — указатели маршрута эвакуации. Для СО-3, СО-4 и СО-5 применяются комплекты оборудования, обеспечивающие дополнительно подачу речевого сигнала в автоматическом и ручном режимах управления.

В СОУЭ 1-го и 2-го типов (рис. 2 и 3) оповещение осуществляется с помощью световых и звуковых оповещателей. На рынке уже появляются приборы, предназначенные именно для 1-го и 2-го типов оповещения (Тромбон-ПУ-2), обеспечивающие контроль исправности линий связи с оповещателями, а также питание оповещателей от аккумуляторной батареи при отключении основного питания.

СОУЭ 3–5-го типов (рис. 4–6) представляют собой автономные централизованные комплексы и строятся по модульному принципу. В зависимости от архитектурных особенностей здания и его назначения системы оповещения включают в себя устройства передачи экстренных сообщений или дополняются модулями для трансляции по зонам фоновой музыки и объявлений обычного назначения. Кроме того, системы оповещения о пожаре различаются по количеству зон оповещения, по способности програм-

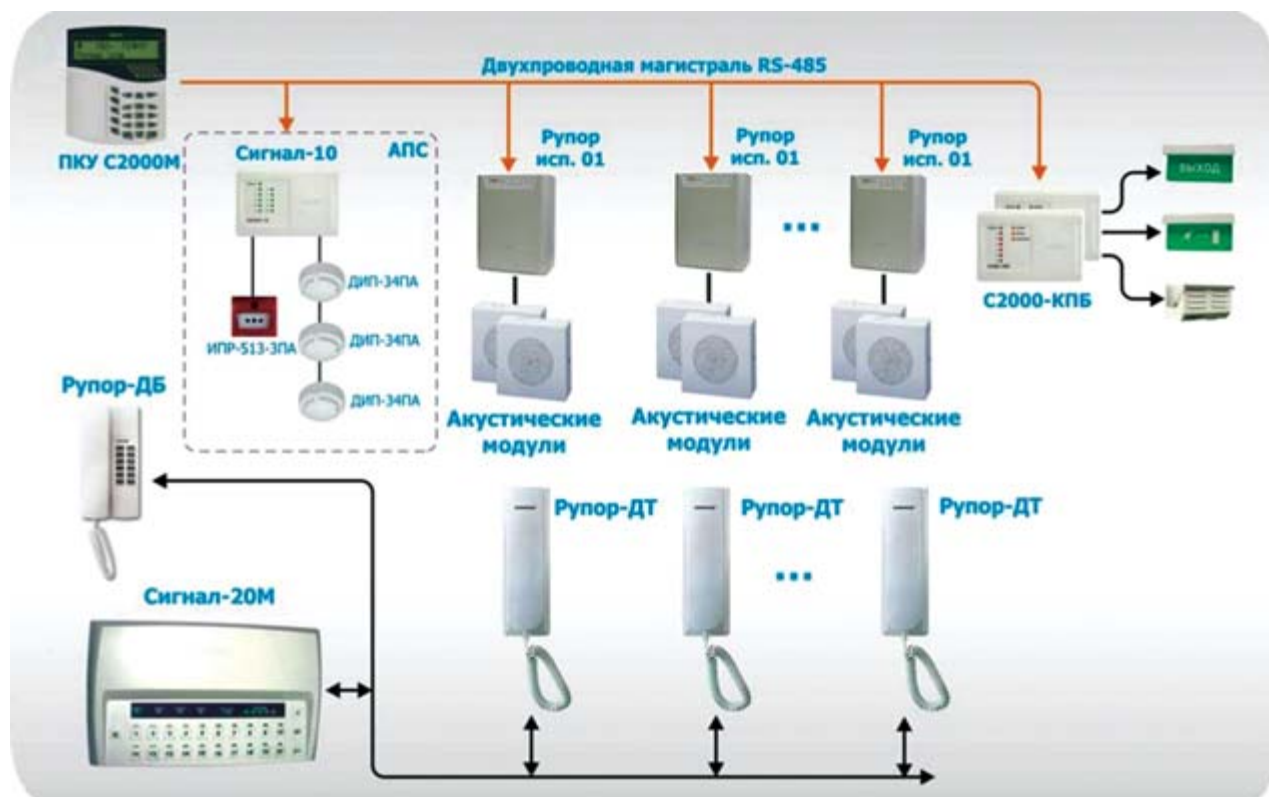


Рис. 5. Пример СОУЭ 4-го типа с автономным комплексом обратной связи

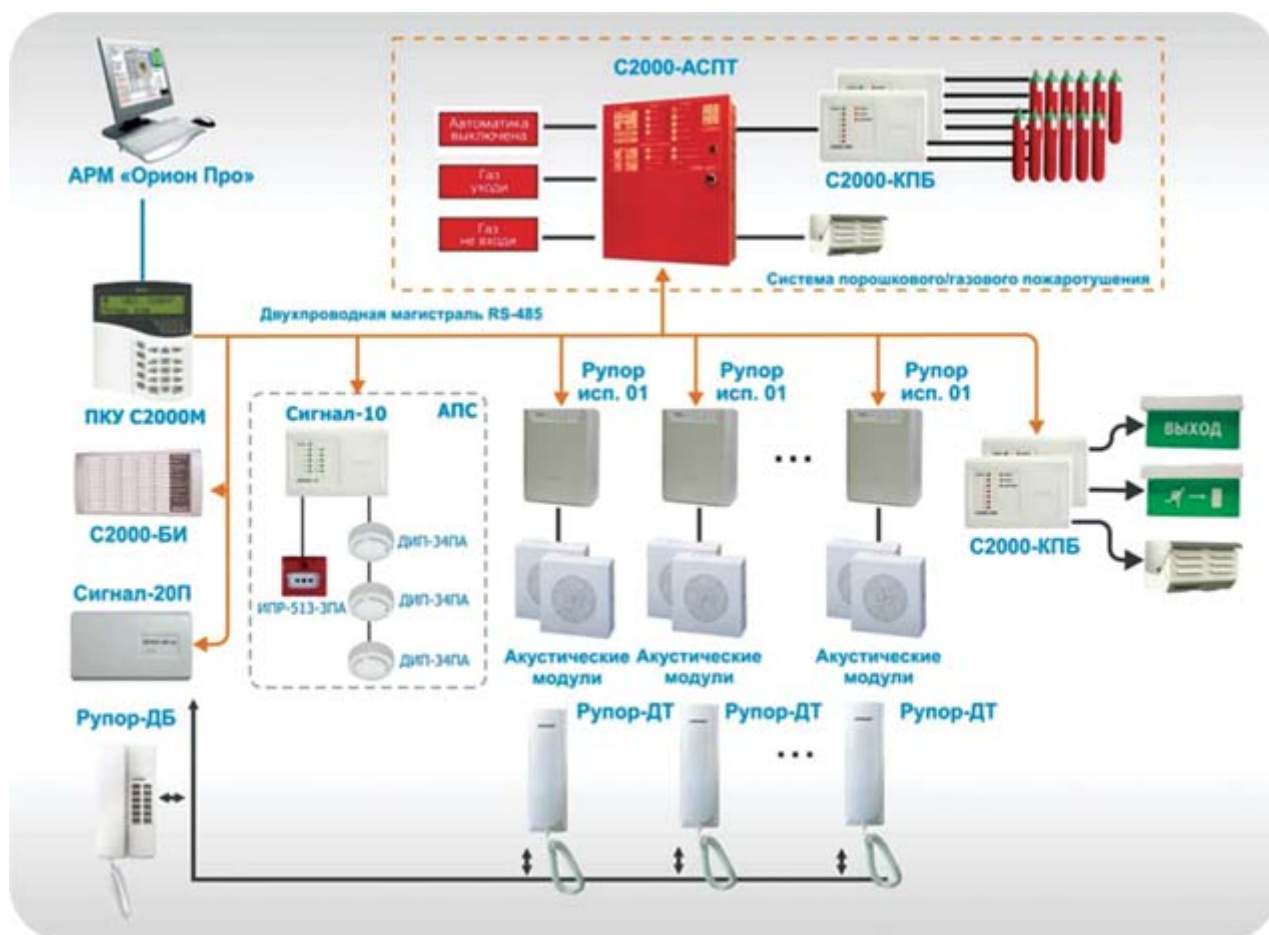


Рис. 6. Пример СОУЭ 5-го типа с комплексом обратной связи в составе ИСО «Орион»

мирования логики событий, по возможности управления СОУЭ.

Основные требования к оборудованию СОУЭ

СОУЭ должна проектироваться исходя из условия обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре.

Информация, передаваемая системами оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей, должна соответствовать информации, содержащейся в разработанных и размещенных на каждом этаже зданий планах эвакуации людей.

СОУЭ должна включаться автоматически от командного сигнала, формируемого автоматической установкой пожарной сигнализации или пожаротушения, за исключением случаев, приведенных ниже.

Дистанционное, ручное и местное включение СОУЭ допускается использовать, если в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности для данного вида зданий не требуется оснащение автоматическими установками пожаротушения и (или) автоматической пожарной сигнализацией. При этом пусковые элементы должны быть выполнены и размещены в соответствии с требова-

ниями, предъявляемыми к ручным пожарным извещателям.

В СОУЭ 3–5-го типов полуавтоматическое управление, а также ручное, дистанционное и местное включение допускается использовать только в отдельных зонах оповещения.

Выбор вида управления определяется организацией-проектировщиком в зависимости от функционального назначения, конструктивных и объемно-планировочных решений здания и исходя из условия обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре.

Кабели, провода СОУЭ и способы их прокладки должны обеспечивать работоспособность соединительных линий в условиях пожара в течение времени, необходимого для полной эвакуации людей в безопасную зону.

Радиоканальные соединительные линии, а также соединительные линии в СОУЭ с речевым оповещением должны быть обеспечены, кроме того, системой автоматического контроля их работоспособности.

Управление СОУЭ должно осуществляться из помещения пожарного поста, диспетчерской или другого специального помещения, отвечающего требо-

ваниям пожарной безопасности, предъявляемым к указанным помещениям.

Световые пожарные оповещатели

Световые оповещатели предназначены для систем оповещения и управления эвакуацией людей в зданиях и сооружениях.

Световые оповещатели должны обеспечивать контрастное восприятие информации при их освещенности от 1 до 500 лк. Мигающий световой оповещатель должен иметь частоту мигания в диапазоне от 0,5 до 5 Гц. Световые оповещатели, предназначенные для обеспечения эвакуации и оповещения, должны иметь сигнальные цвета в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026–2001 [2]:

- сигнальные лампы, извещающие о нарушении технологического процесса или условий безопасности: “Тревога”, “Неисправность” и др., — красный [3, 4];
- световые табло (надпись белого цвета на зеленом фоне), указатели эвакуационных выходов — зеленый.

Исходя из указанных требований необходимо делать два вида световых оповещателей:

1) собственно световые оповещатели — красного цвета, которые дублируют звуковое и/или речевое оповещение о пожаре (рис. 7) и которые, как следует из табл. 1 СП 3.13130.2009 [5], должны быть мигающими. Другие требования к ним (размеры, яркость, надпись и т. д.), за исключением частоты мигания, не определены;

2) световые эвакуационные указатели — зеленого цвета (рис. 8).



Рис. 7. Примеры световых оповещателей, дублирующих звуковой сигнал тревоги



Рис. 8. Примеры световых оповещателей информативного характера

Одним из вариантов световых оповещателей являются взрывозащищенные оповещатели. Их особенностью является конструкция, исключающая создание условий для возникновения пожара или взрыва и позволяющая использовать их в помещениях с высоким уровнем пожаровзрывоопасности.

Оповещатели устанавливаются:

- а) в помещениях, в которых расположены устройства сбора и обработки информации, с целью сообщения персоналу о прохождении сигнала тревоги;
- б) на самих охраняемых объектах с целью создания условий для более эффективной их защиты.

Основной целью световых оповещателей является обеспечение гарантированного восприятия людьми информации о возникновении пожара. Основное требование к световым оповещателям: световой оповещатель в дежурном режиме должен гореть ровным светом, а при прохождении сигнала тревоги — мигать.

Звуковые оповещатели о пожаре

Звуковой способ оповещения о пожаре в виде сирен и стробоскопов используется в системах 1-го и 2-го типов в соответствии с СП 3.13130.2009 [5]. Непосредственно система оповещения состоит из определенным образом расположенных в помещениях оповещателей и линий связи, по которым обеспечивается питание устройств автоматического контроля работоспособности. Система должна обеспечивать требуемый уровень сигналов оповещения не только в нормальных условиях, но и при пожаре.

По месту установки звуковые оповещатели различают настенного и потолочного типа (рис. 9).

По конструктивному исполнению звуковые оповещатели подразделяются на стандартные и взрывозащищенные.

В звуковом канале оповещателей используется широкополосная динамическая головка, сопряженная со сложной акустической системой, которая обеспечивает отличное звучание с окружающей средой (рис. 10).

Вид звукового сигнала стандартизован для использования в системах пожарной сигнализации.



Рис. 9. Звуковые оповещатели: а — настенный; б — потолочный



Рис. 10.
Устройство
звукового
оповещателя

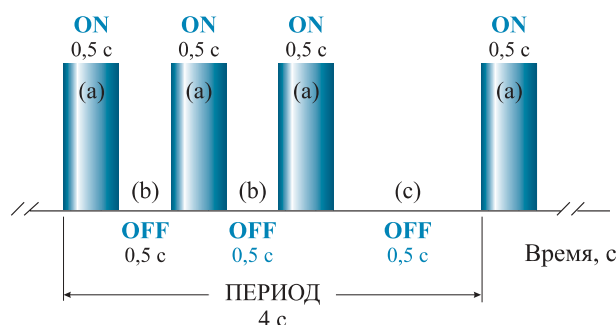


Рис. 11. Временная диаграмма стандартного сигнала оповещения для пожарных сигнализаций: (а) — звуковой сигнал — $0,5 \text{ с} \pm 10 \%$; (б) — пауза — $0,5 \text{ с} \pm 10 \%$; (с) — пауза — $1,5 \text{ с} \pm 10 \%$; (с) = (а) + 2(б)

Вид сигнала — периодический; каждый период состоит из трех импульсов с паузами с общей продолжительностью периода $4 \text{ с} \pm 10 \%$ (рис. 11). По СП 3.13130.2009 [5] СОУЭ должна функционировать в течение времени, необходимого для завершения эвакуации людей из здания.

Для снижения энергопотребления необходимо обеспечить одновременно широкую диаграмму направленности и высокий уровень сигнала при минимальных мощностях потребления. Для примера, на рис. 12 приведена диаграмма направленности оповещателя серии ЕМА производства “КАС”.

Акустическая система этого оповещателя имеет направленность в виде конуса: большим углом относительно нормали (т. е. в более удаленных направлениях) соответствует больший уровень сигнала. Использование оповещателя с такой диаграммой по-

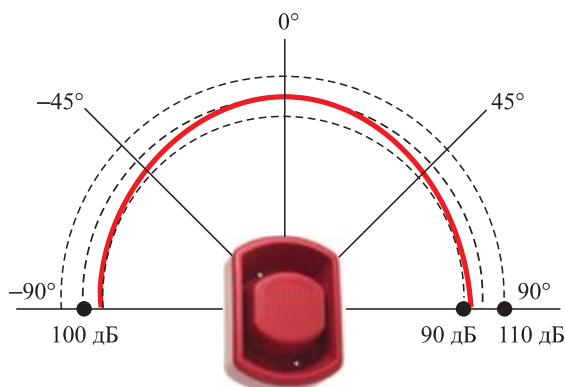


Рис. 12. Диаграмма направленности оповещателя серии ЕМА

зволяет получить одинаково высокий уровень сигнала оповещения на большой площади.

При проектировании системы оповещения необходимо выбирать тип оповещателей, их количество и места установки исходя из требуемого минимального уровня сигнала.

Комбинированные оповещатели

По сравнению со звуковыми и световыми оповещателями светозвуковые оповещатели не только намного эффективнее, но и, как правило, значительно дешевле. Кроме того, они обеспечивают сокращение объема монтажных работ и улучшают дизайн помещения.

Требования по звуковому каналу и звуковому оповещению к комбинированным оповещателям, естественно, те же, что и к звуковым.

В настоящее время на российском рынке представлен широкий спектр светозвуковых оповещателей, различающихся как по техническим характеристикам, так и по ценовому диапазону — от достаточно дешевых отечественных пьезосветодиодных оповещателей до технически сложных зарубежных ксенонных стробов яркостью до 177 кд с динамическими (110 дБА) сиренами. Технические характеристики оповещателей определяют различные области их применения — это и торгово-развлекательные, выставочные центры, и промышленные объекты с высоким уровнем шума, и помещения, где могут находиться люди с физическими недостатками, а также посты дежурного персонала, службы охраны и т. п. [3, 4].

Речевые системы оповещения о пожаре

Речевой способ оповещения (аудиализация специальных текстов) в обязательном порядке используется в системах оповещения и управления эвакуацией людей 3–5-го типов [6]. Этот способ, в отличие от звукового оповещения с помощью сирен, значительно снижает риск возникновения неадекватного поведения людей при пожаре, что позволяет организованно провести эвакуацию.

В состав систем речевого оповещения входят источники речевых сообщений, усилительная, коммутационная аппаратура, разнообразные громкоговорители [6]. Источники сообщений могут быть аналоговыми устройствами (магнитофонные деки) или цифровыми приборами. Все системы распределения звука (системы управления звуком) представляют собой матрицу, распределяющую несколько входных сигналов на определенное число выходов, линий и зон вещания. Поэтому подобные системы еще называют системами зонного вещания.

Функции, характеристики и комплектация систем оповещения зависят от требований, предъявляемых

заказчиком к безопасности объекта. Как правило, минимальная конфигурация такой системы включает в себя: устройство для записи речи (микрофон); устройство записи (магнитофон); коммутатор; усилитель; речевой оповещатель.

В более крупные системы оповещения входят усилители мощности, комбинированные музыкальные усилители, CD/MP3-плееры, кассетные деки, цифровые тюнеры, блоки управления, автоматики и сигнализации с возможностью подключения к охранному или охранно-пожарным системам.

Конструктивно системы оповещения представляют собой один радиоэлектронный блок (рис. 13) или систему функциональных блоков, собранную на стойке.

В память блока в процессе его производства может быть записано до семи различных сообщений и четыре сигнала для привлечения внимания. Выбор необходимых сообщений производится пользователем с помощью DIP-переключателя, расположенного на задней панели блока.

Оборудование управления и индикации оповещения людей о пожаре состоит из следующих блоков:

- блока управления и индикации речевого оповещения;
- усилителей мощности;
- оборудования электропитания;
- блоков коммутации и контроля;
- сетевой панели;
- настольных микрофонных пультов.

Комплекс оборудования для управления и индикации оповещения людей о пожаре предназначен для работы в автоматическом и ручном режимах оповещения, а также для трансляции информации служебного характера и фоновой музыки. В автоматическом режиме работы сигнал “Пуск” формируется замыканием нормально-разомкнутой контактной пары ППКП при его срабатывании от датчиков пожарной сигнализации. Важнейшей частью системы речевого оповещения являются речевые пожарные оповещатели. В зависимости от типа защищаемого объ-



Рис. 13. Оборудование управления и индикации речевого оповещения в моноблочном исполнении



Рис. 14. Врезные потолочные оповещатели

екта и вида помещения, его размеров и назначения используются различные виды речевых оповещателей. В последние годы благодаря развитию микроэлектроники появился широкий выбор активных речевых оповещателей, которые содержат встроенный усилитель мощности и энергонезависимую память с записанным в нее сообщением. Для увеличения площади оповещения обычно используются дополнительные активные речевые оповещатели, на входы которых поступает аудиосигнал с первого оповещателя. Может также использоваться один активный оповещатель с достаточно мощным усилителем, к которому подключаются пассивные оповещатели.

Особый интерес представляют беспроводные, радиоканальные активные речевые оповещатели, которые могут питаться от встроенных источников питания. Такие извещатели максимально упрощают монтаж системы оповещения, обеспечивают предельное время работоспособности линии связи в условиях пожара.

Используются различные способы размещения оповещателей. Широко распространены настенные речевые оповещатели, выполненные в корпусах различной формы. В офисных помещениях с подвесным потолком обычно используются потолочные врезные оповещатели в различном оформлении (рис. 14). Например, их дизайн может сочетаться с электрическими лампами, установленными в том же помещении. В больших комнатах с высокими потолками используются подвесные речевые оповещатели типа “люстра”, устанавливаемые на требуемой высоте (рис. 15). На открытых пространствах могут применяться широкополосные и рупорные громкоговорители.



Рис. 15. Широконаправленный широкополосный подвесной оповещатель

Перспективные системы оповещения

Одним из перспективных подходов является разработка полностью цифровых систем оповещения. Подобные системы уже предлагаются на рынке. Наиболее эффективные системы — плод коллективных усилий российских разработчиков и специалистов ведущих компаний Южной Кореи, Сингапура и Китая. Использование цифровых систем оповещения позволяет решать сложные задачи оборудования таких объектов, как гостиницы, спортивные комплексы, крупные сооружения и предприятия.

Основным преимуществом цифровой системы оповещения является возможность построения на ее базе систем распределенного звучания. Эти системы позволяют решить задачу объединения нескольких зданий (помещений), отстоящих друг от друга или от центрального оборудования на большие расстояния (более 1000 м), в единую звуковую систему.

Цифровая система основана на принципе последовательной передачи информации (аналог протокола RS-422). Диаметр пар несуществен, поскольку сигналы низкоуровневые. Для покрытия больших расстояний через каждые 1000 м устанавливается ретранслятор.

Персональный компьютер с установленным программным обеспечением через COM-порт и адаптер управляет 6-канальным аудиопроцессором. Выход звуковой платы компьютера соединяется с аудиовходом процессора. На выходе процессора формируется цифровой сигнал, который поступает на вход терминала. Громкоговорители подключаются на 100-В выход терминала.

Терминал — это усилитель или селектор зон. Каждому терминалу присваивается (при помощи дополнительной программы) уникальный адрес самого терминала и зоны. Нескольким терминалам может быть присвоен один и тот же адрес зоны. Терминалы с одинаковыми адресами зон будут составлять группу (терминалов).

В системе может быть реализовано до 250 зон с возможной разбивкой на 99 групп. Доступ к зонам осуществляется и в ручном, и в автоматическом режиме при помощи как компьютера, так и центрального процессора.

Помимо компьютера, данной системой может управлять центральный процессор, на передней панели которого расположен удобный джойстик и дисплей. При помощи данного блока осуществляется управление и контроль всей системы — от блоков центрального оборудования до конечных терминалов.

Заключение

Системы оповещения необходимы в первую очередь на предприятиях, специфика работы которых связана с повышенной угрозой возникновения технических аварий, пожаров, взрывов и выбросов опасных химических реагентов. Такие условия работы не являются большой редкостью в наше время и характерны для предприятий следующих отраслей:

- металлургическая промышленность;
- химическая промышленность;
- нефтедобыча и нефтепереработка;
- транспортировка нефти и продуктов ее переработки;
- газопереработка и нефтехимия;
- электроэнергетика;
- железная дорога;
- автотранспортные предприятия и крупные автомагистрали;
- морские порты;
- аэропортовые комплексы;
- грузовые и таможенные терминалы;
- силовые структуры.

Основная задача, которую должна выполнять любая система оповещения, — это передача сигнала о возникновении опасной ситуации по всей территории предприятия, во все производственные, административные здания и помещения, находящиеся в зоне потенциальной опасности. Системы оповещения в режиме штатной ситуации на предприятии могут использоваться для трансляции музыкальных программ, передачи различных объявлений и информации различного характера.

Оповещение является связующим звеном между системой автоматической пожарной сигнализации и людьми, находящимися в этом здании, и от его работы напрямую зависит их здоровье и жизнь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
2. ГОСТ 12.4.026–2001. ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2003 г. — М. : Стандартинформ, 2001. — 72 с.
3. Антоненко А. А. Техническая эксплуатация средств охраны и безопасности объектов : учеб.-метод. пособие. — М. : НОУ “ТАКИР”, 2002. — 48 с.
4. Назаров В. И., Рыженко В. И. Охранные и пожарные системы сигнализаций : справочник. — М. : Изд-во “Оникс”, 2007. — 32 с.

5. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 173; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 7 с.
6. Магауенов Р. Г. Системы речевого оповещения: основы теории и принципы построения. — М. : Горячая линия Телеком, 2004. — 367 с.

Материал поступил в редакцию 20 ноября 2012 г.

English

EQUIPMENT, APPLICATION IN WARNING SYSTEM AND EVACUATION MANAGEMENT

HOANG Tho Duc, Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: duc_pccc@mail.ru)

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)

ABSTRACT

It is well known, that the main cause of death in fires is accompanying panic. With a little more calm, and people would deliberately leave the danger zone, with the calm and successfully evacuated the main wealth. When hear the word “fire”, most people lose the ability to think straight. The only thing that can help with this — guidance from professionals who retain self-control in an emergency. The technical basis for communication between professionals with frightened people — Warning system and evacuation management (WSEM). Warning systems are used to broadcast fire alert or any other alarm in the given area with an absolute priority over other alerts (transmission short messages, advertisements, background music, radio and so on). Currently, automatic warning systems is tending to be a stable segment in the safety market. Manufacturers of fire-proof service industry increasingly incorporate these devices in their standard package. Specialists consider that in the near future integrated approach of safety systems complex will become dominant feature, components expansion of product composition creates a win-win situation for the producer and the consumer. In this article we present the classification, classifications and general requirements for WSEM equipment, analysis of WSEM components.

Keywords: equipment for system of annunciation and management of evacuation; fire alarms; advanced warning systems.

REFERENCES

1. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [Evacuation and human behavior in fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 212 p.
2. *State Standard 12.4.026–2001. Occupational safety standards system. Safety colours, safety signs and signal marking. Purpose and rules of application. General technical requirements and characteristics. Methods of tests.* Moscow, Standartinform Publ., 2001. 72 p. (in Russian).
3. Antonenko A. A. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sredstv okhrany i bezopasnosti obyektov* [Technical operation of security equipments and safety objects]. Moscow, NOU “TAKIR” Publ., 2002. 48 p.
4. Nazarov V. I., Ryzhenko V. I. *Okhrannyye i pozharnyye sistemy signalizatsiy* [Security and fire alarm systems]. Moscow, Oniks Publ., 2007. 32 p.
5. *Set of Rules 3.13130.2009. Systems of fire protection. System of annunciation and management of human evacuation at fire. Requirements of fire safety.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 7 p. (in Russian).
6. Magauenov R. G. *Sistemy rechevogo opoveshcheniya: osnovy teorii i printsipy postroyeniya* [Voice messaging systems. Basic theory and principles of construction]. Moscow, Goryachaya Liniya Telekom Publ., 2004. 367 p.

С. В. ЖАРТОВСКИЙ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты МЧС Украины (Украина, 01011, г. Киев, ул. Рыбальская, 18; e-mail: zhart20@ukr.net)

В. В. НИЖНИК, канд. техн. наук, начальник центра, Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты МЧС Украины (Украина, 01011, г. Киев, ул. Рыбальская, 18)

Р. В. УХАНСКИЙ, заместитель начальника центра, Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты МЧС Украины (Украина, 01011, г. Киев, ул. Рыбальская, 18)

УДК 614.849

АКТИВНАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КУПОЛОВ ЦЕРКВЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДНЫХ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Приведены результаты натурных испытаний и лабораторных исследований водных огнетушащих веществ, которые могут быть использованы для активной противопожарной защиты деревянных конструкций куполов церквей. Предложен новый подход к разработке водного огнетушащего вещества, имеющего улучшенные в сравнении с водой физико-химические свойства, в целях повышения огнетушащей способности. Исследованы физико-химические характеристики водного огнетушащего вещества ФСГ-2, определяющие его высокую эффективность по тушению пожаров класса А.

Ключевые слова: активная противопожарная защита; водное огнетушащее вещество.

Вода является традиционным огнетушащим веществом (далее — ОТВ), широко используемым во все времена для активной противопожарной защиты объектов. Из общих теоретических предпосылок, а также из специально проведенных исследований [1] следует, что огнетушащая эффективность воды возрастает с повышением ее дисперсности. В настоящее время интенсивно проводятся научные работы по изучению эффективности применения тонкораспыленной воды (ТРВ). Существуют целые классы объектов, для которых ТРВ является наиболее предпочтительным огнетушащим веществом. Например, в работе [2] рассматривается применение ТРВ для тушения пожаров в высотных зданиях. В то же время известны научные публикации, в которых показаны физические и технические трудности применения ТРВ, в частности при тушении высокоэнергетических пожаров твердых горючих материалов [3]. Прежде всего это касается сложности формирования капель воды заданной дисперсности, доставки мелких (менее 0,01 мм) капель в очаг пожара и связанных с этим ограничений по применению установок высокого давления.

Сложности, приведенные в работе [3], могут быть преодолены путем введения специальных веществ (добавок) в воду, т. е. путем создания водных огнетушащих веществ (ВОВ). Такие ВОВ уже находят применение в установках, которые проектируются для противопожарной защиты различных объектов

[4]. Актуальность этого пути подтверждается практикой, которая обозначает все новые и новые задачи и проблемы, требующие разрешения для обеспечения качественной противопожарной защиты объектов. В частности, предлагаемые исследования посвящены активной противопожарной защите культовых сооружений.

Целью данной работы является решение задачи обеспечения активной противопожарной защиты деревянных конструкций куполов церквей с применением специально разработанных для этого ВОВ.

Рассматриваемый объект относится к классу объектов с массовым пребыванием людей, поэтому при разработке ВОВ следует обращать особое внимание на токсичность создаваемого вещества. По требованиям ГОСТ 12.1.007 токсичность применяемого в данном случае ВОВ не должна превышать III класса опасности. В этой связи обращает на себя внимание полимерный антисептик, входящий в состав пропиточных огнебиозащитных смесей ДСА-1 и ДСА-2, которые были успешно нами использованы для пассивной противопожарной защиты деревянных конструкций куполов церквей [5]. Это вещество относится к IV классу опасности (малотоксичное вещество) и имеет ряд полезных для огнезащиты реологических свойств. В частности, раствор данного антисептика хорошо смачивает поверхность древесины.

Огнетушащую эффективность водных растворов антисептика (в качестве ВОВ) определяли в соот-

ветствии с украинским стандартом (ДСТУ 3675–98) на модельном очаге пожара класса А1 с использованием водного огнетушителя ВО-9. Испытания показали, что применение ВОВ (5 %-ный раствор антисептика) по сравнению с чистой водой позволяет уменьшить массовый расход ОТВ на 66 %, а дальность струи при этом увеличить на 17 %. Результаты испытаний можно отнести к результатам обычного уровня, полученным в конце XX столетия. Этому составу явно недостает ингибирующего фактора [4] и некоторых других физико-химических свойств.

Для расширения возможностей полимера на основе гуанидиновых оснований был осуществлен направленный синтез нового вещества. К макромолекуле этого природного полимера в качестве комплексообразующего компонента добавили фосфорсодержащее соединение, которое обладает ингибирующими свойствами. Новый полимерный комплекс очень хорошо растворяется в воде. При удалении воды до концентрации основного вещества до 60 % образуется гидрогель, устойчивый к температурам до 100 °С. При дальнейшем повышении температуры вода испаряется и образуется прозрачная полимерная пленка с хорошей адгезией к целлюлозосодержащим материалам (древесине, тканям, бумаге, камышу и др.). Температура плавления отмечается в диапазоне 176–180 °С, а температура разложения полимерного комплекса превышает 400 °С. Выделяющиеся газообразные продукты термической деградации полимера не поддерживают горения и являются флегматизаторами газовых горючих сред.

Приведенные выше физико-химические свойства водных растворов этого вещества оказались полезными для огнебиозащиты тканей с различной химической природой волокон (хлопок, лен, вискоза, полиамиды, полиэфиры, смесевые ткани, в том числе ковровые и др.). На новое вещество подготовлена соответствующая нормативно-техническая документация. В зависимости от рецептурных модификаций оно выпускается двух марок — ФСГ-1 и ФСГ-2.

Полимерный химический комплекс марки ФСГ-2 имеет ряд физико-химических свойств, определяющих целесообразность его применения в качестве ВОВ. Как отмечалось выше, данное вещество представляет собой водный раствор комплексного химического полимерного соединения на основе природных гуанидиновых оснований. Для идентификации комплексного химического полимерного соединения применяли два метода — ИК-спектроскопию и морфологические (микроскопические) исследования кристаллохимических процессов образования твердого вещества.

Для определения строения макромолекулы воспользовались сравнением инфракрасного спектра поглощения (ИК-спектра) исследуемого вещества со

стандартными природного гуанидинового основания и табличными значениями характеристических полос поглощения функциональных групп [6]. ИК-спектры получали на двухлучевом спектрофотометре “Specord M-80” в диапазоне измерений 4000–200 см⁻¹. Анализ полученного ИК-спектра позволяет утверждать, что получено комплексное химическое соединение [7].

Морфологические исследования кристаллохимических процессов образования твердого вещества во время удаления растворителя (воды) из ВОВ ФСГ-2 показали следующее. С уменьшением количества растворителя композиция принимает малоподвижное состояние (в виде геля), которое присуще растворам или расплавам высокомолекулярных соединений [8]. Последующее удаление растворителя приводит к образованию специфических кристаллов, так называемых сферолитов, которые являются кристаллической формой высокомолекулярных соединений [8]. Плотность ВОВ ФСГ-2 больше по сравнению с водой, поверхностное натяжение с увеличением концентрации основного вещества значительно уменьшается (табл. 1).

Показатель поверхностного натяжения жидкости определяли методом отрыва кольца. Из-за специфических свойств водных растворов ВОВ ФСГ-2 определить температуру замерзания $T_{\text{зам}}$ удалось только для растворов с концентрацией основного вещества 3,75 и 7,5 % — соответственно минус 4,3 и минус 9,3 °С. Определению температуры замерзания растворов больших концентраций препятствует процесс гелеобразования, который начинается при положительных температурах.

ВОВ ФСГ-2, имеющее в составе 60 % комплексного химического соединения, при 20 °С является прозрачным раствором. Охлаждение его до 18 °С приводит к образованию малоподвижного гидрогеля, а при нагревании до 20 °С оно опять начинает плавиться. Последующее повышение концентрации комплексного соединения в ВОВ ФСГ-2 приводит к образованию гидрогеля с повышенной температурой плавления. Зависимость температуры плавления гидрогеля от концентрации комплексного соединения приведена в табл. 2.

Таблица 1. Результаты исследования плотности и поверхностного натяжения ВОВ ФСГ-2

Показатель	Значение показателя при концентрации комплексного соединения в растворе, %					
	0	3,75	7,5	15	30	60
Плотность, кг/дм ³	1,0	1,02	1,03	1,07	1,13	1,2
Поверхностное натяжение, мН/м	63,75	35,25	33,16	31,26	30,96	29,36

Таблица 2. Результаты исследования изменения температуры плавления гидрогеля с увеличением концентрации комплексного соединения в ВОВ ФСГ-2

Концентрация комплексного вещества, %	60	63	66	72	85
Температура плавления гидрогеля, °С	20	27	34	76	96

Из приведенных физико-химических свойств особо следует отметить способность к гелеобразованию и пониженное поверхностное натяжение. Последнее свойство определяет реологические свойства струй ВОВ при подаче к очагу пожара. Как показано в работе [9], с помощью пневматического распылителя при давлении 0,8 МПа удастся получить струи ВОВ ФСГ-2 средней дисперсности, чего не удавалось добиться при использовании воды (при том же давлении).

Для исследования охлаждающих свойств ФСГ-2 применяли дифференциальный термический анализ (ДТА) по методике, основанной на принципе работы дериватографа “Паулик Д. и Ердей А.”. Исследовался образец гидрогеля при концентрации комплексного соединения 74 % и образец чистого гуанидинового полимера. Были обеспечены одинаковые условия записи термограмм: скорость нагревания — 10 °С в минуту, скорость записи — 2 мм в минуту, температурный интервал — 1000 °С. Как свидетельствует термический спектр, на термограмме образца гидрогеля комплексного полимерного соединения (табл. 3) насчитывается пять эндотермических эффектов и один экзотермический.

ВОВ ФСГ-2 испытывали на способность ингибировать цепные реакции пламенного горения гептана на установке, в которой излучение его пламени фиксировалось с помощью спектрометра СДЛ-1 [10]. Необходимо было установить, при каких концентрациях комплексного соединения и при каких соотношениях атомов азота и атомов фосфора в этом соединении будут проявляться наивысшие ингибирующие свойства. Результаты эксперимента показали, что ВОВ ФСГ-2 действительно обладает ингибиру-

Таблица 3. Результаты термогравиметрических исследований гидрогеля комплексного полимерного соединения и чистого гуанидинового полимера

Вещество	Температурный интервал, °С, эффектов	
	эндотермических	экзотермического
Гидрогель комплексного полимерного соединения	60–70; 100–145; 145–200; 220–250; 310–380	390–625
Чистый гуанидиновый полимер	300–380; 430–490	480–535

ющими свойствами, причем при соотношении атомов фосфора и атомов азота 2 : 1 в комплексном соединении наблюдается усиление ингибирующей эффективности, т. е. регистрируется эффект синергизма.

Таким образом, исследованные физико-химические характеристики ВОВ ФСГ-2 подтвердили их полезность для интегральной характеристики ВОВ — огнетушащей способности.

Огнетушащую способность ФСГ-2, воды с добавкой пенообразователя (далее — ПО) типа Pirena, воды с добавкой гелеобразующего вещества типа Prevento, воды с добавкой пенообразователя типа AFFF и ингибирующей соли определяли в сравнении с огнетушащей способностью воды, которая была принята за единицу. Принципиальная схема установки для определения относительной огнетушащей способности ВОВ для тушения пожаров класса А представлена на рис. 1. Суть метода заключается в определении массы ВОВ, которое необходимо подать в тонкораспыленном виде для тушения очага пожара класса А.

В качестве модельного очага пожара класса А использовали деревянный штабель в виде куба, в качестве горючего вещества — сосновые бруски с поперечным сечением (30 ± 1) мм и длиной (150 ± 5) мм. Влажность древесины выдерживали в пределах от 10 до 14 %. Штабель складывался в пять слоев, по три бруска в каждом. Для поджога модельного очага использовали металлическое деко для горючей жидкости (бензин марки А-92) размером 150×150 мм с высотой борта (70 ± 10) мм и толщиной стенки 2 мм.

Исследуемое ВОВ заливали в емкость 14 через горловину 9 (см. рис. 1). С помощью весов 13 определяли массу емкости 14 с ВОВ. После этого включали компрессор 12 для создания заданного рабоче-

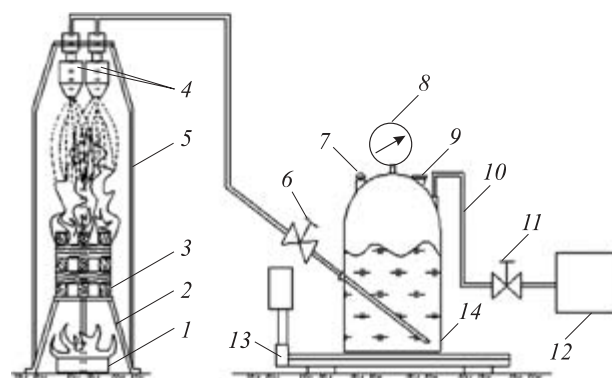


Рис. 1. Экспериментальная установка для определения относительной огнетушащей способности ВОВ для тушения пожара класса А: 1 — металлическое деко; 2 — металлический треногий штатив; 3 — модельный очаг пожара класса А; 4 — распылители ВОВ (2 шт.); 5 — штатив для крепления распылителей; 6, 11 — запорный клапан; 7 — предохранительный клапан; 8 — манометр; 9 — горловина для заправки ВОВ; 10 — соединительные трубопроводы; 12 — компрессор; 13 — весы; 14 — емкость для заправки ВОВ

го давления в емкости 14 (с ВОВ). Значения давления контролировались манометром 8. С помощью факела поджигали горючую жидкость в деке 1. Общая продолжительность свободного горения модельного очага пожара класса А составляла (300 ± 5) с. По окончании времени свободного горения начиналась подача ВОВ. Одновременно с открыванием запорного крана 6 с помощью секундомера регистрировали время тушения модельного очага. Погрешность измерения секундомера составляла 2 %. По окончании горения модельного очага с помощью весов 13 определяли массу емкости 14 с ВОВ. Погрешность измерения весов составляла $\pm 0,1$ кг.

Относительную огнетушащую способность ВОВ Z определяли по формуле

$$Z = m_1/m_2,$$

где m_1 — масса воды, израсходованной на тушение модельного очага пожара класса А, кг;

m_2 — масса исследуемого ВОВ, израсходованного на тушение модельного очага пожара класса А, кг.

Для расчета показателя относительной огнетушащей эффективности использовали средние арифметические значения m_1 и m_2 , полученные в результате проведения не менее трех испытаний каждого типа ВОВ. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 4.

По результатам экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

1. При добавлении к воде 2 % пенообразователя типа Pirena за счет снижения поверхностного натяжения воды уменьшается размер капель, что приводит к увеличению площади теплообмена, вследствие чего относительная огнетушащая способность ОТВ при тушении пожаров класса А увеличивается в 1,5 раза.

2. При добавлении к воде 2 % гелеобразующего вещества типа Prevento огнетушащая способность при тушении пожаров класса А увеличивается более чем в 3 раза. Это объясняется действием нескольких факторов. На первом этапе, главным образом, проявляется охлаждающее действие воды. В процессе нагревания начинается процесс выпаривания воды из гелевой пленки. Одновременно происходит разбавление зоны горения негорючими газами. При дальнейшем нагревании на поверхности твердых материалов образуется ксерогель, который оказывает теплоизолирующее действие. Расход ВОВ при этом уменьшается и за счет снижения эффекта стекания ВОВ с наклонных и вертикальных поверхностей.

3. При добавлении к воде пенообразователя типа AFFF и ингибирующей соли эффект охлаждения (присущий воде) усиливается ингибирующим эффектом солевого антипирена.

Таблица 4. Усредненные результаты определения относительной огнетушащей способности тонкораспыленных струй ВОВ (класс пожара А, время свободного горения 300 с, площадь горения 0,2268 м²)

Огнетушащее вещество	Добавка к воде, % масс.	Средняя масса ОТВ, израсходованного на тушение, кг	Относительная огнетушащая способность Z , раз
Вода	—	5	1,00
Вода + 2 % ПО типа Pirena	2	3	1,66
Вода + 2 % гелеобразующего вещества типа Prevento	2	1,6	3,10
Вода + 34 % ингибирующей соли и 0,5 % ПО типа AFFF	34/0,5	1,2	4,16
ФСГ-2	31,5	1,1	4,55

4. При использовании в качестве ВОВ ФСГ-2 реализуется: охлаждающий эффект, ингибирующий эффект, флегматизация пламенного и конденсированного горения, экранирование и изолирование источника горения с помощью гидрогеля и полимерной пленки комплексного химического соединения. При этом также следует учитывать снижение эффекта стекания ФСГ-2 с наклонных и вертикальных поверхностей за счет реализации гелеобразующих свойств. Это, в конечном счете, обосновывает применимость разработанного ВОВ для активной противопожарной защиты деревянных конструкций куполов церквей.

Технология активной противопожарной защиты подкупольного деревянного пространства культовых сооружений основана на оборудовании под куполом системы пожаротушения. В зависимости от вида принудительной системы система пожаротушения может быть двух типов: 1) в случае отсутствия системы пожарной сигнализации — неавтоматическая система (сухотруб с дренчерными орошителями, рис. 2,а); 2) при наличии в подкупольном пространстве оповещателей системы пожарной сигнализации — автоматическая система пожаротушения (рис. 2,б) [10].

Огневые испытания ВОВ ФСГ-2 проводили на макете пожарной нагрузки купола церкви, представляющего собой 1/8 часть наиболее распространенного купола церкви на Украине. Испытания проводились с целью подтверждения нормативного значения интенсивности подачи ВОВ системой пожаротушения на тушение деревянных конструкций и продолжительности его подачи. Макет поджигался при помощи очага класса В. После выгорания очага время свободного горения деревянных элементов

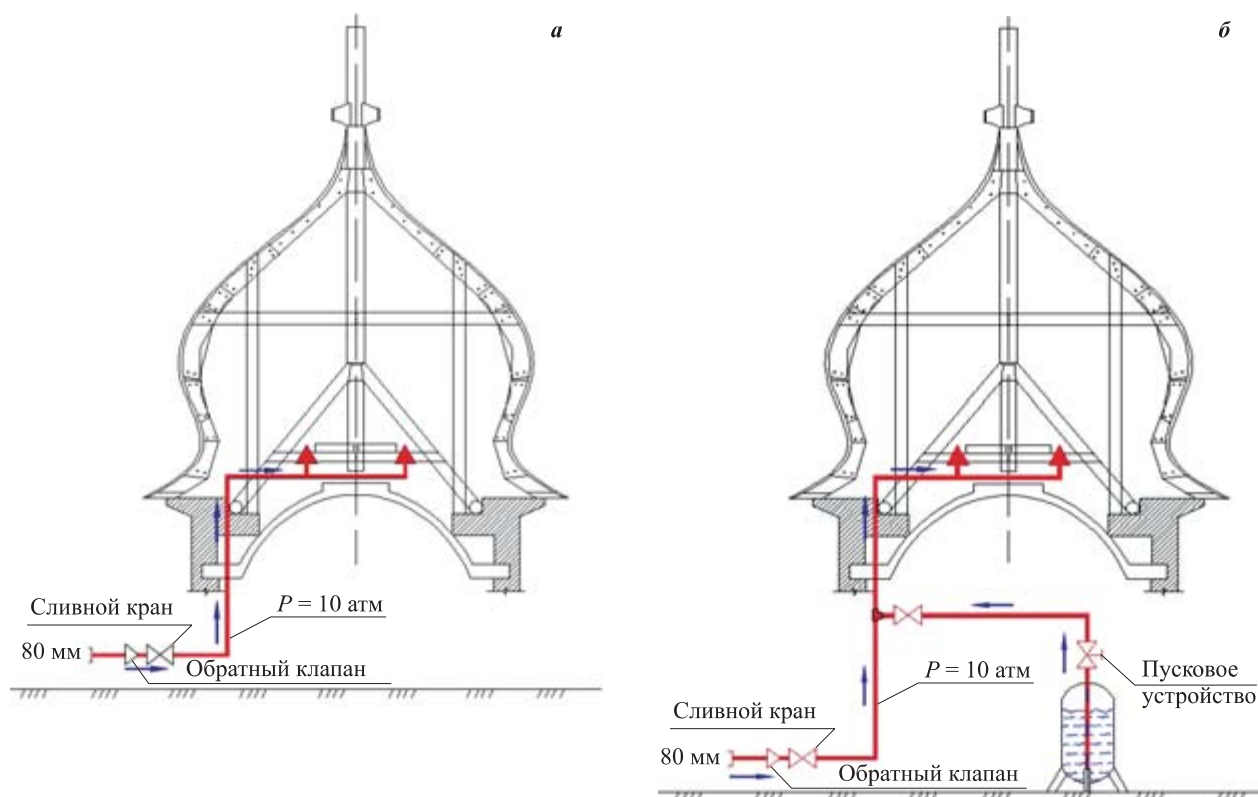


Рис. 2. Схема оборудования подкупольного пространства системой пожаротушения: *а* — противопожарный сухотруб; *б* — автоматическая система пожаротушения

составляло (300 ± 15) с. По прошествии этого времени включалась система пожаротушения с заданными параметрами подачи ВОВ ФСГ-2: интенсивность подачи — $0,05 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, продолжительность подачи — 180 с. По завершении работы системы пожаротушения макет пожарной нагрузки был погашен. При этом не наблюдалось жара на деревянных брусках, а также повторного возгорания в течение 15 мин с момента включения системы пожаротушения.

Таким образом, экспериментальные результаты подтверждают эффективность использования разработанного ВОВ ФСГ-2 для активной противопожарной защиты деревянных конструкций куполов церквей, что, в конечном счете, позволяет повысить уровень пожарной безопасности объекта с массовым пребыванием людей. Результаты данных исследований учтены при разработке и внедрении нормативно-технической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Первушин Ю. В. Тушение распыленной водой и порошками диффузионных пламен // Физика горения и взрыва. — 1979. — Т. 15, № 1. — С. 77–83.
2. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
3. Абдурагимов И. М. Несостоятельность идеи применения тонкораспыленной и “термоактивированной” (перегретой) воды для пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 54–58.
4. Антонов А. В., Турчин А. И. Вопросы проектирования и применения систем пожаротушения с использованием технологий тонкого распыления водных огнетушащих веществ // Актуальные проблемы пожарной безопасности: XXI Междунар. науч.-практ. конф. — М.: ВНИИПО, 2010. — С. 173–175.
5. Жартовский В. М., Нижник В. В., Жартовский С. В., Добростан А. В. Пассивная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением пропиточных составов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 32–38.
6. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. — 536 с.

7. Харитонов Ю. Я. Аналитическая химия. В 2 кн. — Кн. 1: Общие теоретические основы. Качественный анализ. — 2-е изд., испр. — М.: Высшая школа, 2003. — 615 с.
8. Тагер А. А. Физикохимия полимеров. — М.: Химия, 1978. — 544 с.
9. Жартковский В. М., Жартковский С. В., Коваль А. Д., Маладыка И. Г., Крышталь В. Н. Реологические свойства водного огнетушащего вещества ФСГ-2 // XXVI Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. — М.: ВНИИПО, 2012. — Ч. 2. — С. 142–143.
10. Тропинов А. Г., Жартковский В. М., Антонов А. В. Ингибирующая способность огнетушащих порошков // Средства порошкового пожаротушения: сб. науч. тр. — М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. — С. 3–6.

Материал поступил в редакцию 22 января 2013 г.

English

ACTIVE FIRE PROTECTION OF WOODEN CONSTRUCTIONS OF CHURCHES DOMES WITH APPLICATION OF WATER FIRE EXTINGUISHING SUBSTANCES

ZHARTOVSKIY S. V., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Ukrainian Scientific-Research Institute of Civil Protection, Ministry of Emergencies of Ukraine (Rybalskaya St., 18, Kiev, 01011, Ukraine; e-mail address: zhart20@ukr.net)

NIZHNIK V. V., Candidate of Technical Sciences, Chief of Centre, Ukrainian Scientific-Research Institute of Civil Protection, Ministry of Emergencies of Ukraine (Rybalskaya St., 18, Kiev, 01011, Ukraine)

UKHANSKIY R. V., Deputy Chief of Centre, Ukrainian Scientific-Research Institute of Civil Protection, Ministry of Emergencies of Ukraine (Rybalskaya St., 18, Kiev, 01011, Ukraine)

ABSTRACT

Water is a traditional fire extinguishing substance, widely used for active fire-prevention protection of objects. From general theoretical preconditions, as well as from a specially conducted research, it follows that the fire extinguishing efficiency of water increases with the increase of dispersion of droplets. Currently there are a lot of scientific works intensively conducted on studying of efficiency of application with fine-air water. There are entire classes of objects for which the finely dispersed water is the most preferable fire extinguishing substance. At the same time there are scientific publications, in which the physical and technical problems of the application of finely dispersed water shown, in particular cases of extinguishing the fires of high-energy solid combustible materials. These difficulties can be overcome through the introduction of specific substances (additives) in the water, that is, through the creation of water fire extinguishing substances. Such substances are already being applied in different facilities, which are designed for fire protection of various objects.

The aim of this work is the solution of the problem of ensuring the active fire protection of wooden construction of churches domes with the application of water fire extinguishing substance developed.

This work presents the results of directed synthesis of water fire extinguishing substance that has received technical name FSG-2. The presented results of the laboratory and full-scale fire tests prove the improved physical-chemical properties of the synthesized substances (in comparison with plain water) in the interests of fire fighting. It is shown that by using FSG-2 are being implemented: a cooling effect, inhibiting effect, flegmatization of fiery and condensed combustion, screening and isolating the source of burning with the help of hydrogel and the polymer compounds. It also should be taken into account that the reduced effects of the migration of FSG-2 from vertical and inclined surfaces due to the implementation of its gel-forming properties.

The presented researches establish the applicability of the developed water fire extinguishing substance for active fire protection of wooden constructions of churches domes, which, by the end, allow to improve the level of fire safety of the object with mass stay of people.

Keywords: active fire protection; water fire extinguishing substance.

REFERENCES

1. Pervushin Yu. V. Tusheniye raspylennoy vodoy i poroshkami diffuzionnykh plamen [Suppression by the sprayed water and powders diffusional flames]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of burning and explosion*, 1979, vol. 15, no. 1, pp. 77–83.
2. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysoznykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
3. Abduragimov I. M. Nesostoyatel'nost' idei primeneniya tonkoraspylennoy i "termoaktivirovannoy" (peregretoy) vody dlya pozharotusheniya [Inconsistency of idea of application thinly sprayed and the "thermoactivated" (superheated) water for the firefighting]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 54–58.
4. Antonov A. V., Turchin A. I. Voprosy proyektirovaniya i primeneniya sistem pozharotusheniya s ispol'zovaniyem tekhnologiy tonkogo raspyleniya vodnykh ognnetushashchikh veshchestv [The questions of design and application of systems of fire extinguishing with the use of technologies of thin spray of water fire extinguishing substances]. *Aktualnyye problemy pozharoy bezopasnosti: XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Actual Problems of Fire Security: XXI International Scientific Practical Conference]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2010, pp. 173–175.
5. Zhartovskiy V. M., Nizhnik V. V., Zhartovskiy S. V., Dobrostan A. V. Passivnaya protivopozharnaya zashchita derevyannykh konstruktsiy kupolov tserkvey s primeneniym propitochnykh sostavov [Passive fire protection of wooden constructions of churches domes with application of impregnating compounds]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 32–38.
6. Nakamoto K. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. 4th ed. New York, John Wiley & Sons, 1986. 484 p. (Russ. ed.: Nakamoto K. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. Moscow, Mir Publ., 1991. 536 p.).
7. Kharitonov Yu. Ya. *Analiticheskaya khimiya. V 2 kn. Kn. 1: Obshchiye teoreticheskiye osnovy. Kachestvennyy analiz* [Analytical Chemistry. In 2 vol., vol. 1. General Theoretical Framework. Qualitative Analysis]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2003. 615 p.
8. Tager A. A. *Fizikokhimiya polimerov* [Physicochemistry of Polymeric Materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 544 p.
9. Zhartovskiy V. M., Zhartovskiy S. V., Koval A. D., Maladyka I. G., Kryshchal V. N. Reologicheskiye svoystva vodnogo ognnetushashchego veshchestva FSG-2 [Rheological properties of water extinguishing substance FSG-2]. *XXVI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po problemam pozharoy bezopasnosti, posvyashchennaya 75-letiyu sozdaniya instituta: tezisy dokladov* [XXVI International scientific-practical conference on the problems of fire safety, devoted to the 75th anniversary of the establishment of the institute: theses of the reports]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012, part 2, pp. 142–143.
10. Tropinov A. G., Zhartovskiy V. M., Antonov A. V. Ingibiruyushchaya sposobnost ognnetushashchikh poroshkov [Inhibiting ability of fire extinguishing powders]. *Sredstva poroshkovogo ognnetusheniya: sb. nauch. tr.* [Means of powder fire extinguishing. Collection of Proceedings]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1989, pp. 3–6.

А. Г. ВИНОГРАДОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры процессов горения, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля (Украина, г. Черкассы-34, 18034, ул. Оноприенко, 8; e-mail: vin_ag@mail.ru)

УДК 536.3:535.34:614.838.441

ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВОДЯНЫМИ ЗАВЕСАМИ. ЧАСТЬ 2

Рассмотрено взаимодействие распыленных водяных струй с тепловым излучением в приближении геометрической оптики. Расчеты, выполненные на основе ранее развитой математической модели, позволили уточнить расчетные формулы для коэффициента пропускания сферической капли воды. Эти формулы использованы для расчета спектров пропускания водяных завес для теплового излучения ближней инфракрасной области 1–10 мкм. Представлен анализ причин несоответствия формы спектров данным из некоторых опубликованных работ. Расчетные зависимости коэффициента пропускания водяной завесы от содержания воды согласуются с результатами, представленными в некоторых других работах.

Ключевые слова: водяная завеса; тепловое излучение; коэффициент пропускания; приближение геометрической оптики.

Введение

В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с применением и усовершенствованием математической модели взаимодействия теплового излучения с распыленными водяными струями, представленной в работе [1]. В частности, проведен теоретический анализ влияния на конечный результат расчетов одного из упрощающих предположений (приближение равенства длин пути лучей внутри капли), которые легли в основу данной модели. Это позволило уточнить расчетные формулы и исключить источник систематической погрешности в расчетах коэффициента пропускания теплового излучения водяной завесой (далее — коэффициент пропускания водяной завесы).

Очень важным является вопрос о соответствии результатов расчетов, полученных с помощью данной модели, и аналогичных результатов, полученных другими авторами как экспериментальным, так и расчетным путем [2–14]. В работе сделана попытка использовать экспериментальные работы, описанные в [3, 4, 10–12], для верификации представленной в [1] математической модели.

В теоретических работах [2, 5–9, 13, 14] для расчетов, как правило, применяются те или иные математические модели с использованием точной теории взаимодействия электромагнитных волн со сферическими телами (теория Ми). Выполнение расчетов такого типа требует применения мощных вычислительных средств и значительных ресурсов машинного времени, прямо пропорциональных размерному параметру $\rho = \pi D/\lambda$ (где D — диаметр капли; λ — длина волны излучения). В связи с этим при расчетах данного типа вводится ограничение на раз-

меры каплей сверху, поэтому в большинстве случаев диаметр каплей не превышает 0,1–0,2 мм.

В работе [1], напротив, установлено ограничение на размеры каплей снизу, поскольку в ней применяется приближение геометрической оптики. Поэтому принципиально важным является сравнение количественных результатов расчетов, полученных двумя разными методами (теория Ми и геометрическая оптика), в одном и том же диапазоне значений размерного параметра ρ . Из этих же соображений интересно сравнить вид спектров пропускания теплового излучения сферическими каплями воды, полученных данными методами для монохроматического излучения.

Постановка задачи

В работе поставлены следующие задачи:

- 1) выполнить расчет эффективной длины пути излучения внутри капли, соответствующей усредненному поглощению падающего на каплю лучистого теплового потока;
- 2) с учетом результатов п. 1 уточнить расчетные формулы для коэффициентов пропускания сферической капли и водяной завесы;
- 3) выполнить расчеты спектров пропускания водяной завесы для монохроматического излучения;
- 4) установить зависимости коэффициента пропускания водяной завесы от удельного содержания жидкой воды;
- 5) сравнить результаты пп. 3 и 4 с литературными данными.

Для учета удельного содержания жидкой воды в водяной завесе (*water loading*) в разных работах применяют различные параметры. Для внесения ясности

в терминологию и исключения недоразумений необходимо определить расчетные формулы и соотношения этих параметров между собой.

Счетная концентрация капель n (м^{-3}) (количество капель в единице объема завесы):

$$n = N/V,$$

где N — количество капель в объеме V .

Массовая концентрация капель w_{mv} (суммарная масса капель в единице объема завесы):

$$w_{mv} = \frac{Nm_d}{V} = n \rho_w \frac{\pi D^3}{6},$$

где m_d — масса капли;

ρ_w — плотность воды.

Объемная доля воды w_{vv} (суммарный объем капель в единице объема завесы):

$$w_{vv} = \frac{NV_d}{V} = n \frac{\pi D^3}{6},$$

где V_d — объем капли.

Массовая доля воды w_{mm} (отношение суммарной массы капель к массе воздуха завесы):

$$w_{mm} = \frac{Nm_d}{\rho_a V} = n \frac{\rho_w}{\rho_a} \frac{\pi D^3}{6},$$

где ρ_a — плотность воздуха.

Соотношение этих параметров:

$$w_{mm} = \frac{w_{mv}}{\rho_a} = \frac{\rho_w}{\rho_a} w_{vv}.$$

Математическая модель экранирования теплового излучения

На рис. 1 представлена схема процесса экранирования теплового излучения. Первичное излучение от очага пожара с интенсивностью I_1 падает на дренчерную водяную завесу толщиной l . Часть лучистого теплового потока W_{abs} при прохождении через водяную завесу поглощается каплями (вследствие чего их температура повышается) и далее выходит излучение с меньшей интенсивностью I_2 .

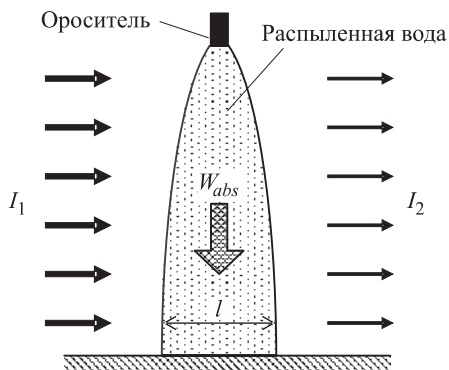


Рис. 1. Схема процесса теплового экранирования дренчерной водяной завесой

Соотношение интенсивностей I_2 и I_1 называется коэффициентом пропускания водяной завесы H :

$$H = I_2/I_1.$$

Для теоретического анализа процесса взаимодействия теплового излучения и монодисперсной водяной завесы разработана математическая модель [1]. В этой модели определена расчетная формула для коэффициента пропускания теплового излучения водяной завесой:

$$H = \exp \left\{ -0,934 [1 - \eta(D, T)] n \frac{\pi D^2}{4} l \right\}, \quad (1)$$

где $\eta(D, T)$ — коэффициент пропускания сферической капли воды, зависящий от ее диаметра D и эффективной температуры очага пожара T ;

n — счетная концентрация капель, м^{-3} .

Для определенности в [1] принято, что спектр излучения очага пожара соответствует спектру излучения абсолютно черного тела. Расчет коэффициента $\eta(D, T)$ достаточно сложен и требует компьютерной обработки больших массивов данных, поэтому в [1] выполнен расчет дискретных значений функции $\eta(D, T)$ для заданных величин D и T . На основе этих данных найдена функция аппроксимации $\eta(D, T)$:

$$\eta(D, T) = AD^B + C, \quad (2)$$

где A, B, C — коэффициенты, представляющие собой некоторые функции от температуры T , дискретные значения которых также были определены расчетным путем.

Далее для каждого из этих коэффициентов также была найдена соответствующая функция аппроксимации. Это позволило в целом для коэффициента $\eta(D, T)$ определить аналитическую функцию, которая существенно упрощает расчетные процедуры, связанные с вычислением коэффициента пропускания водяной завесы.

Однако при разработке математической модели, положенной в основу расчета значений коэффициента $\eta(D, T)$, для ее упрощения были использованы некоторые приближения, которые повлияли на точность результатов вычислений. Одним из них является приближение равенства длин пути лучей внутри капли. Как показала оценка, выполненная уже после опубликования работы [1], погрешность результатов расчетов вследствие использования данного приближения может достигать 20 %. В связи с этим был проведен соответствующий анализ и предложен метод корректировки расчетных формул, который позволил исключить погрешность, связанную с использованием данного приближения. На основе более совершенных расчетных процедур повторно были рассчитаны коэффициенты $\eta(D, T)$ и найдены более точные функции аппроксимации для коэффи-

циентов A , B и C в соотношении (2) (см. ниже формулы (15)–(17)).

Расчет эффективной длины пути излучения внутри сферической капли

Энергетический поток первичного излучения, падающего на отдельную каплю:

$$W_1 = I_1 \frac{\pi D^2}{4}. \quad (3)$$

В результате взаимодействия с поверхностью капли 6,6 % этого потока отражается (преимущественно в прямом направлении) [15, 16], а остальная часть проникает внутрь капли, формируя входящий поток:

$$W_{in} = 0,934 W_1. \quad (4)$$

Часть этого потока W_{abs} поглощается внутри капли, а наружу выходит другая его часть W_{out} , также преимущественно в прямом направлении (в пределах конуса с углом образующей 22° по уровню 0,5 от максимума) [15, 16].

В соответствии с [1] коэффициент пропускания капли η равен отношению выходящего из капли потока излучения W_{out} к входящему внутрь капли потоку W_{in} :

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} = \frac{W_{out}}{W_{abs} + W_{out}}. \quad (5)$$

Таким образом, для определения η необходимо найти поглощенную часть потока W_{abs} . В представленной математической модели с этой целью используется закон Бугера–Ламберта–Бера [17, 18]:

$$I_w = I_{w1} e^{-\alpha_\lambda x}, \quad (6)$$

где I_w — текущая интенсивность электромагнитной волны;

I_{w1} — начальное значение интенсивности;

α_λ — коэффициент поглощения вещества, зависящий от длины волны λ ;

x — длина пути в данном веществе (воде).

Для расчета длины пути x в приближении геометрической оптики необходимо учесть преломление лучей на поверхности капли (рис. 2). Элементарный расчет позволяет установить, что при показателе преломления воды $n_m = 1,33$ длина пути x для различных траекторий лучей изменяется в пределах от $0,66D$ (для “скользящего” падения лучей) до D (для нормального падения).

При этом наиболее коротким траекториям, близким к $0,66D$, соответствуют лучи с минимальной интенсивностью вследствие высокого коэффициента отражения на поверхности капель. Основной вклад в тепловой поток излучения, прошедший внутрь капли, дают лучи, длина пути которых внутри капли

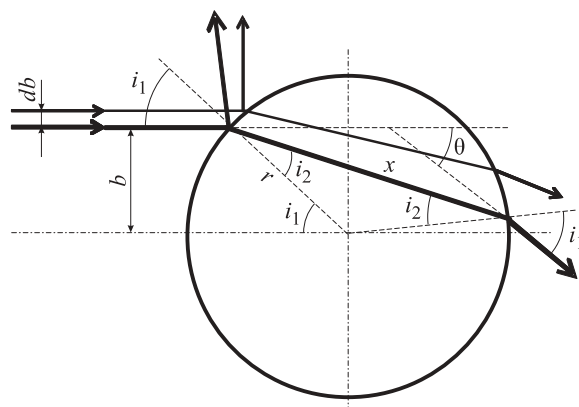


Рис. 2. Схема преломления лучей каплей и отражение их от ее поверхности

близка к D . Поэтому, принимая при расчете поглощения излучения для всех траекторий лучей одинаковую длину пути $x \approx D$, мы не делаем большой ошибки. Именно такое приближение было изначально принято в данной модели для упрощения расчетов [1].

Однако все же очевидно, что среднее значение длины пути лучей внутри капли, хотя и незначительно, но меньше D . Поэтому необходимо оценить ошибку, связанную с вышеуказанным приближением, и по возможности ослабить ее влияние на результаты расчетов. С этой целью нужно определить такое значение эффективной длины пути лучей внутри капли $x_{эф}$ (одинаковое для всех лучей, попадающих в контур капли), при котором расчет коэффициента пропускания капли η с его использованием совпадет со значением η , полученным в результате точного расчета. Учитывая, что параметр $x_{эф}$ привязан к диаметру капли D , будем искать его значение из соотношения

$$x_{эф} = kD, \quad (7)$$

где k — некоторый эффективный коэффициент; $k < 1$.

Для точного расчета η рассмотрим кольцевой элемент падающего на каплю первичного потока излучения радиусом b и шириной db (см. рис. 2):

$$dW_1 = I_1 2\pi b db.$$

Входящий внутрь капли элемент потока

$$dW_{in} = dW_1 [1 - R(b)],$$

где R — коэффициент отражения поверхности воды для неполяризованного излучения, зависящий от радиуса b [19]:

$$R(b) = \frac{1}{2} \left(\left[\frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)} \right]^2 + \left[\frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)} \right]^2 \right), \quad (8)$$

i_1, i_2 — угол соответственно падения и преломления для показателя преломления воды n_m ;

$$i_1 = \arcsin (b/r); \quad (9)$$

$$i_2 = \arcsin (b/(n_m r)), \quad (10)$$

r — радиус капли; $r = D/2$.

Зависимость коэффициента отражения R от отношения b/r , рассчитанная для $n_m = 1,33$, представлена на рис. 3. Согласно данному графику коэффициент отражения R для всех лучей, удаленных от оптической оси менее чем на $0,6r$, составляет около $0,02$. Большие значения ($R > 0,1$) он приобретает лишь для периферийных лучей ($b > 0,9r$), углы падения которых близки к 90° . Именно эти лучи дают основной вклад в отраженный каплей поток излучения. Вследствие их “скользящего” падения на поверхность капли они отклоняются после отражения лишь на небольшие углы. Их расчетная индикатриса рассеяния имеет ширину $\pm 14^\circ$ по уровню $0,5$ от максимума [16].

Длину пути луча внутри капли определим, учитывая (10):

$$x = 2r \cos i_2 = 2r \sqrt{1 - \left(\frac{b}{n_m r}\right)^2}.$$

С помощью (6) найдем выходящий из капли элемент потока:

$$\begin{aligned} dW_{out} &= dW_{in} e^{-\alpha_\lambda x} = \\ &= 2\pi I_1 [1 - R(b)] e^{-\alpha_\lambda 2r \sqrt{1 - \left(\frac{b}{n_m r}\right)^2}} b db. \end{aligned}$$

Интегрируя полученное выражение по b от 0 до r , найдем полный, выходящий из капли поток излучения:

$$W_{out} = 2\pi I_1 \int_0^r [1 - R(b)] e^{-\alpha_\lambda 2r \sqrt{1 - \left(\frac{b}{n_m r}\right)^2}} b db.$$

Учитывая (3)–(5), найдем спектральный (для длины волны λ) коэффициент пропускания капли:

$$\begin{aligned} \eta_\lambda &= \frac{2}{0,934 r^2} \times \\ &\times \int_0^r [1 - R(b)] e^{-\alpha_\lambda 2r \sqrt{1 - \left(\frac{b}{n_m r}\right)^2}} b db. \end{aligned} \quad (11)$$

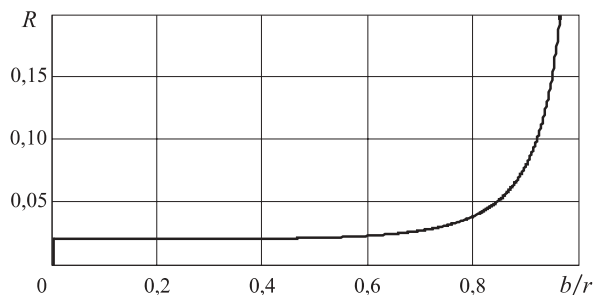


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения R поверхности капли воды от отношения b/r

Данная расчетная формула может применяться для точного (в рамках геометрической оптики) определения коэффициента пропускания сферической капли, соответствующего значению коэффициента поглощения воды α_λ .

Согласно методике работы [1] спектральный коэффициент пропускания капли определяется по формуле

$$\eta_\lambda = \frac{W_{out}}{W_{in}} = \frac{W_{in} e^{-\alpha_\lambda D}}{W_{in}} = e^{-\alpha_\lambda D}. \quad (12)$$

Однако, учитывая, что эффективная длина пути лучей внутри капли $x_{эф} < D$ (см. (7)), придем к соотношению

$$\eta_\lambda = e^{-\alpha_\lambda k D}. \quad (13)$$

Приравняв выражения (11) и (13), получим расчетную формулу для коэффициента k :

$$k = \frac{-\ln \eta_\lambda}{2r\alpha_\lambda} = \frac{-1}{2r\alpha_\lambda} \times \ln \left\{ \frac{2}{0,934 r^2} \int_0^r [1 - R(b)] e^{-\alpha_\lambda 2r \sqrt{1 - \left(\frac{b}{n_m r}\right)^2}} b db \right\}. \quad (14)$$

На основе соотношений (11) и (14) для некоторых значений диаметров капель были выполнены расчеты и построены графические зависимости $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ и $k(\alpha_\lambda)$ (рис. 4).

Как видно из рис. 4, коэффициент k при $D = 0,2$ мм почти не зависит от α_λ . Чтобы уточнить значение k и установить его зависимость от диаметра капель, на рис. 5 представлены его расчетные графики для трех значений диаметров в увеличенном масштабе. Сравнивая эти графики с соответствующими графиками $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ на рис. 4, можно сделать вывод, что в интервалах значений α_λ , для которых $0 < \eta_\lambda < 1$, коэффициент k почти не зависит от α_λ и D . Его значение в этих интервалах находится в пределах $0,83$ – $0,85$.

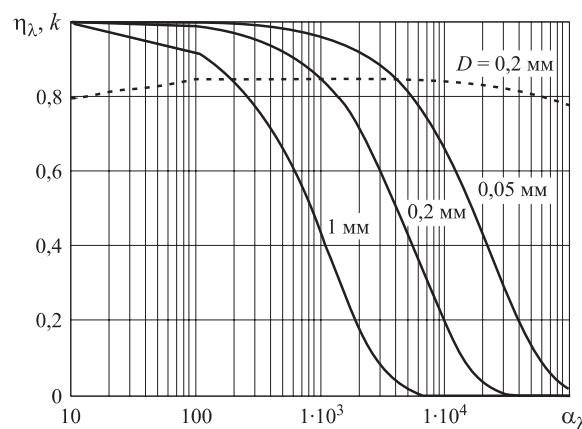


Рис. 4. Графики зависимостей $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ (—) и $k(\alpha_\lambda)$ (---) для различных диаметров капель

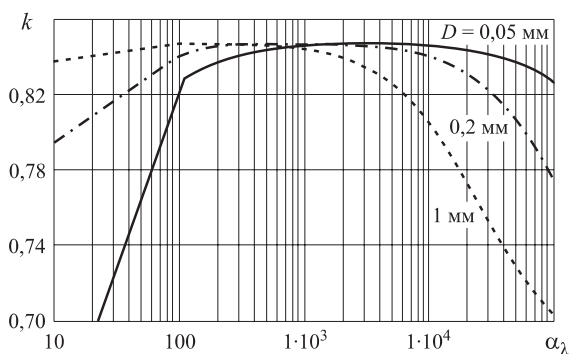


Рис. 5. Графики зависимостей $k(\alpha_\lambda)$ для различных диаметров капель

Следует учесть, что для тех интервалов значений α_λ , при которых $\eta_\lambda \approx 0$ или $\eta_\lambda \approx 1$, изменение коэффициента k практически не влияет на результаты расчета. Важным является только значение k в упомянутых выше интервалах значений α_λ (средние участки графиков на рис. 5). Чтобы убедиться в этом, был выполнен расчет зависимостей $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ по формулам (11) и (13) при $k = 0,84$. При одинаковых значениях D их графики полностью совпали, что свидетельствует о правильности данного утверждения.

Принимая $k = 0,84$ и используя формулу (13) вместо (12) для расчета спектров пропускания капель, мы можем уточнить результаты, полученные в работе [1]. При этом возникает вопрос: насколько это повлияет на результаты расчетов? Иначе говоря, насколько большую ошибку в расчет величины $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ вносит применение формулы (12) (как это было сделано в работе [1]) вместо более правильной формулы (13)? Чтобы получить ответ на этот вопрос, был выполнен расчет относительной погрешности:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \eta_\lambda}{\eta_{\lambda_{13}}} = \frac{\eta_{\lambda_{13}} - \eta_{\lambda_{12}}}{\eta_{\lambda_{13}}} = 1 - e^{-\alpha_\lambda (1-k) D},$$

где (12), (13) — численные индексы, соответствующие номерам формул в данном тексте.

На рис. 6 представлены для сравнения графики соответствующих функций $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ для $D = 0,2$ мм, а также график относительной погрешности ε .

На основании графиков рис. 6 можно сделать вывод, что относительная погрешность, связанная с применением коэффициента k , велика при малых значениях η_λ . Однако учитывая, что коэффициент пропускания водяной завесы H пропорционален величине $(1 - \eta)$ (см. (1)), которая близка к насыщению при малых значениях η , приходим к выводу, что влияние данной погрешности на параметр H является наиболее сильным при средних значениях η ($\varepsilon \sim 0,2$).

Принципиальным является вопрос: нужно ли вообще применять для расчета коэффициента пропускания капли приближенную формулу (13), если у нас есть точная формула (11)? Ответ достаточно

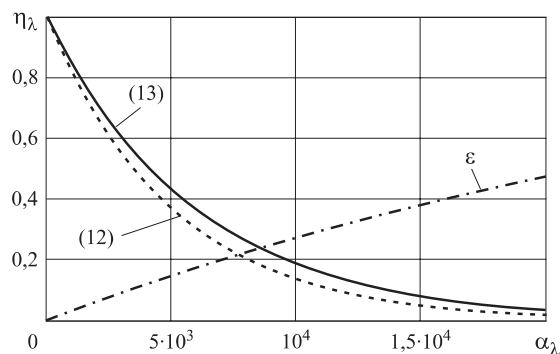


Рис. 6. Графики $\eta_\lambda(\alpha_\lambda)$ при расчете по формулам (12) и (13) и относительной погрешности ε

очевиден: во-первых, применение формулы (13) существенно упрощает расчеты; во-вторых, как было сказано выше, расчетные графики, полученные с применением этих двух формул, практически совпадают, т. е. упрощение расчетов не приводит к возникновению дополнительной погрешности.

Применение формулы (13) можно проиллюстрировать следующей наглядной интерпретацией. Вместо взаимодействия теплового излучения с полупрозрачными сферами (каплями воды) мы, по сути, рассматриваем его взаимодействие с эквивалентными полупрозрачными цилиндрами, образующие которых расположены параллельно направлению излучения (рис. 7). Диаметр цилиндра таков, что его площадь сечения C_{in} составляет 0,934 от площади сечения сферы (сечение рассеяния капли C_{sca}), а его длина $x_{эф} = kD$. Уменьшение диаметра связано с учетом отражения от капли 0,066 потока излучения и его распространения практически в том же направлении. Остальные лучи из падающего на каплю потока проходят внутри цилиндра одинаковый путь $x_{эф}$, частично поглощаются и далее выходят наружу. Сечение цилиндра C_{in} , в свою очередь, можно представить как сумму сечений поглощения C_{abs} и пропускания C_{out} . Как показал анализ, такая замена объектов позволяет получить адекватный результат расчетов при существенном упрощении расчетных формул.

С учетом полученных выше результатов была скорректирована математическая модель, положенная в основу расчета спектров пропускания капель. Для расчета спектрального коэффициента пропускания сферической капли воды вместо формулы (12) использована формула (13), в которой принято значение коэффициента $k = 0,84$. Результаты расчетов интегрального (по длинам волн) коэффициента пропускания сферической капли воды $\eta(D, T)$ для излучения абсолютно черного тела (отличающиеся от опубликованных в [1]) представлены в табл. 1.

При использовании функции аппроксимации (2) для приближенных расчетов данного коэффициента необходимо выполнить перерасчет коэффициентов

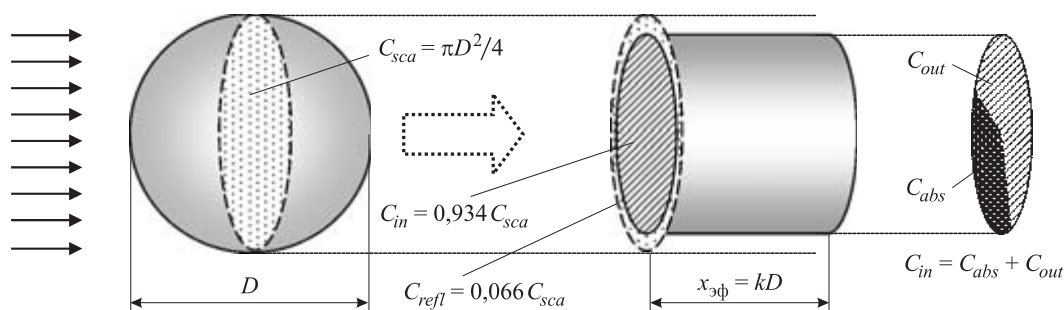


Рис. 7. Эффективная модель взаимодействия излучения с каплей воды

Таблица 1. Результаты расчета η для различных значений T и D

D , мм	Значение η при температуре T , К											
	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
0,05	0,242	0,273	0,308	0,345	0,384	0,423	0,462	0,498	0,532	0,563	0,592	0,618
0,1	0,113	0,144	0,181	0,222	0,265	0,308	0,350	0,391	0,429	0,465	0,497	0,527
0,2	0,045	0,070	0,101	0,137	0,176	0,216	0,257	0,297	0,335	0,371	0,404	0,434
0,5	0,015	0,028	0,047	0,071	0,099	0,129	0,161	0,193	0,225	0,255	0,285	0,313
1,0	0,006	0,014	0,024	0,039	0,057	0,078	0,101	0,125	0,150	0,174	0,198	0,222

A , B и C на основе полученных результатов. С этой целью были вначале вычислены дискретные значения этих коэффициентов, а затем с помощью регрессии определены их новые функции аппроксимации в следующем виде:

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} (T - 207,6)^{11,02}; \quad (15)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} T + 1,0519 \cdot 10^{-6} T^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} T^3 + 5 \cdot 10^{-13} T^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} T^5; \quad (16)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495 T}. \quad (17)$$

Следует иметь в виду, что данные приближенные функции определены для ограниченных интервалов значений диаметра каплей — $0,05 < D < 1$ мм и температуры абсолютно черного тела (источника излучения) $800 < T < 1800$ К.

Таким образом, расчетные формулы (1), (2) и (15)–(17) позволяют выполнить приближенный расчет коэффициента пропускания монодисперсной однородной водяной завесы постоянной толщины при заданной эффективной температуре источника теплового излучения (очага пожара) в предположении, что спектр его излучения соответствует спектру абсолютно черного тела.

Спектры пропускания водяной завесы для монохроматического излучения

В работе [1] выполнены расчеты спектров пропускания сферической капли воды для теплового излучения абсолютно черного тела. В то же время значительный интерес представляют и спектры пропускания водяной завесы в целом при воздействии монохроматического излучения ближнего ИК-диапазона. Их изучение позволяет сделать вывод о влия-

нии разных параметров на эффективность экранирования теплового излучения распыленной водой на различных участках спектра. Кроме того, необходимо сравнить их с аналогичными спектрами, полученными другими авторами с помощью теории Ми.

Для монохроматического излучения формула (1) с учетом (13) примет вид:

$$H_\lambda = \exp \left[-0,934 (1 - e^{-\alpha_\lambda k D}) n \frac{\pi D^2}{4} l \right]. \quad (18)$$

Для определения счетной концентрации каплей n , в соответствии с принятыми в работах [2–9] методиками, было задано фиксированное значение массовой доли жидкой воды в завесе:

$$w_{mm} = \frac{m_w}{m_a} = \frac{\rho_w n \pi D^3}{6 \rho_a},$$

где m_w , m_a — масса соответственно жидкой воды и воздуха в некотором объеме завесы;

ρ_w , ρ_a — плотность соответственно воды и воздуха.

Отсюда найдем:

$$n = \frac{6 \rho_a w_{mm}}{\rho_w \pi D^3}. \quad (19)$$

Подставляя (19) в (18), получим:

$$H_\lambda = \exp \left[-0,934 (1 - e^{-\alpha_\lambda k D}) \frac{3 \rho_a w_{mm}}{2 \rho_w D} l \right], \quad (20)$$

или с учетом соотношения $w_{mv} = \rho_a w_{mm}$:

$$H_\lambda = \exp \left[-0,934 (1 - e^{-\alpha_\lambda k D}) \frac{3 w_{mv}}{2 \rho_w D} l \right]. \quad (21)$$

Выражение (21), по сути, совпадает с формулой для коэффициента пропускания водяной завесы, полученной в одной из ранних работ на эту тему [14]:

$$H_\lambda = \exp\left(-\frac{3Kw_{mv}l}{4\rho_w r}\right), \quad (22)$$

где K — некоторая функция, названная в [14] фактором ослабления (*attenuation factor*) капли.

В данной работе роль этой функции играет выражение (см. формулу (5) в [1]):

$$K = \frac{C_{abs}}{\pi r^2} = 0,934(1 - \eta). \quad (23)$$

Для монохроматического излучения в приближении геометрической оптики (см. (13)) $\eta_\lambda = e^{-\alpha_\lambda kD}$. С учетом (13) и (23) получим совпадение формул (21) и (22) в данном приближении. Точный расчет функции K с использованием теории Ми является весьма сложным и предполагает применение достаточно мощных компьютеров [2, 5–9, 13, 14].

В настоящей работе, задавая значения α_λ на основе данных [20], с помощью соотношения (20) были выполнены расчеты спектров пропускания монохроматической водяной завесы для фиксированных значений $w_{mm} = 0,1$ и $l = 0,2$ м. На рис. 8 представлены расчетные спектры для трех значений диаметра капель.

Локальные минимумы спектров на рис. 8 соответствуют максимумам зависимости коэффициента поглощения воды α_λ , представленной на рис. 9 (по данным [20]).

Как следует из рис. 8, от диаметра капель зависит не только средний уровень коэффициента пропускания водяной завесы, но и форма спектров. То, что коэффициент пропускания в целом возрастает при увеличении диаметра капель, связано с чисто геометрическим эффектом. Для грубой оценки данного свойства водяной завесы можно использовать геометрический коэффициент экранирования f (отношение суммарной площади сечения капель к площади завесы):

$$f = nl \frac{\pi D^2}{4}. \quad (24)$$

Подставляя в (24) вместо n выражение (19), получим:

$$f = \frac{3\rho_a w_{mm}}{2\rho_w D} l. \quad (25)$$

Таким образом, при фиксированных значениях количества воды в завесе ($w_{mm} = \text{const}$) и размеров завесы ($l = \text{const}$) увеличение диаметра капель приводит к уменьшению площади их суммарного сечения в плоскости завесы.

Разумеется, параметр f не может использоваться для расчетов реального коэффициента экраниро-

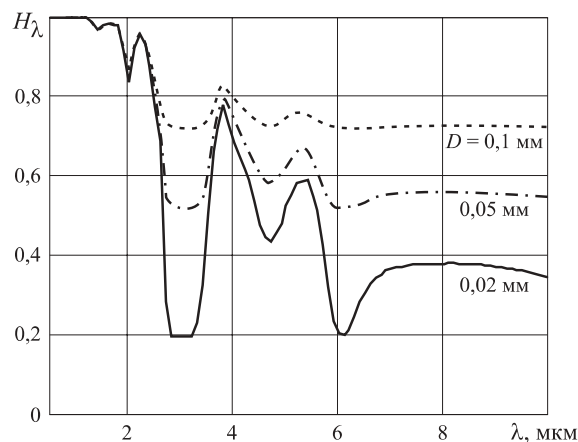


Рис. 8. Спектры пропускания водяной завесы при $w_{mm} = 0,1$ и $l = 0,2$ м для заданных диаметров капель

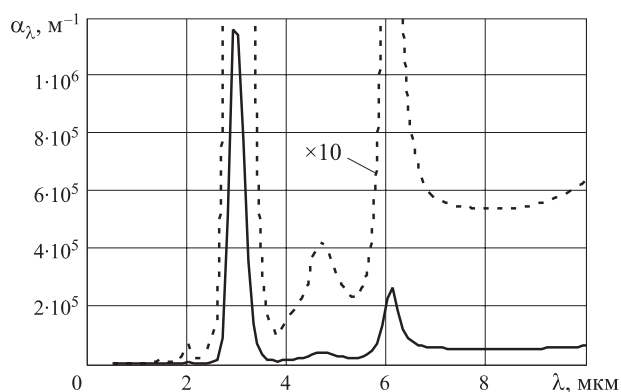


Рис. 9. Зависимость коэффициента поглощения воды от длины волны излучения

вания, поскольку при неограниченном увеличении, например, толщины l значение f может превысить 1. Реальный коэффициент экранирования (т. е. $(1 - H)$) зависит от толщины завесы экспоненциально и всегда меньше единицы (см. (1) или (20)).

Что касается зависимости формы спектров от диаметра капель, то здесь проявляется действие экспоненциального члена в круглых скобках в формулах (20) и (21). При увеличении диаметра капли D он стремится к нулю, приближая выражение в круглых скобках к единице. Чем больше значение α_λ (т. е. чем выше пик на рис. 9), тем при меньших значениях D наступает “насыщение” и спектр достигает некоторого постоянного уровня. Физически это означает, что если для данного диаметра капли поглощается почти все излучение при некотором значении α_λ , то дальнейшее увеличение α_λ не влияет на уровень спектра. Поэтому спектры пропускания водяной завесы при больших значениях D становятся более плоскими, приближаясь по форме к горизонтальной прямой.

Во многих опубликованных за последние годы работах [2–8] приводятся полученные расчетным и экспериментальным путем спектры пропускания во-

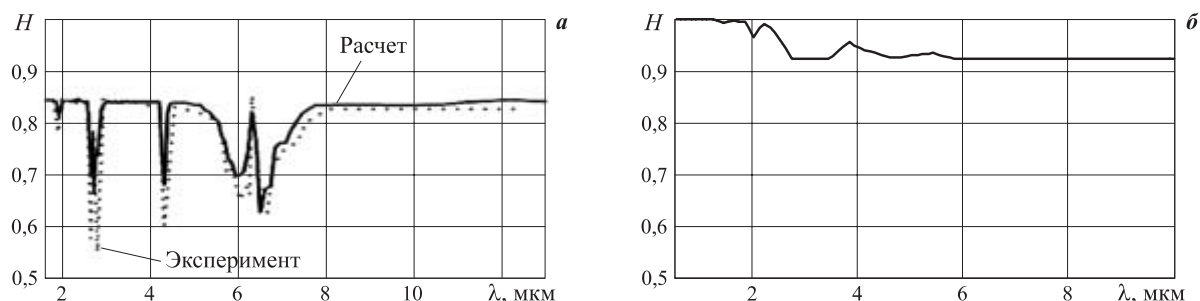


Рис. 10. Спектры пропускания водяной завесы: а — по данным [2, 3]; б — расчет по формуле (20)

дных завес, форма которых существенно отличается от приведенных на рис. 8. Типичный пример представлен на рис. 10,а, где показаны полученные экспериментально и расчетом (с использованием теории Ми) спектры пропускания водяной завесы, созданной с помощью распылителя типа TG03-3 bars, для следующих параметров [2, 3]: средний диаметр каплей $D = 0,1$ мм; толщина распыленной струи $l = 0,24$ м; объемная доля воды $w_{vv} = 24 \cdot 10^{-6}$; относительная влажность воздуха 60 %.

Для сравнения двух методик эти же параметры были заданы для расчета спектра пропускания по формуле (20) (рис. 10,б).

При сравнении спектров на рис. 10,а и 10,б, а также на рис. 10,а и 8 очевидно их несоответствие как по общей форме, так и по характерным особенностям. Как следует из работ [2, 3], основные пики поглощения на рис. 10,а не имеют отношения к распыленной воде и обусловлены поглощением излучения в газовой составляющей водяной завесы. При этом пики при λ , равном 2,7 и 6,5 мкм, связаны с полосами поглощения водяного пара, а пик при $\lambda = 4,3$ мкм — с полосой поглощения углекислого газа. Что касается общего уровня коэффициента пропускания водяной завесы вне данных полос (около 0,84, см. рис. 10,а), то он определяется не поглощением в каплях, а рассеянием на них [2]. Пики поглощения жидкой воды при λ , равном 3,0; 4,7 и 6,1 мкм, определяющие форму спектров на рис. 8, на спектрах рис. 10,а отсутствуют.

Данное несоответствие спектров можно объяснить следующим образом. Водяная завеса, которая исследовалась в работах [2, 3], не создавала заметного экранирующего эффекта вследствие низкой счетной плотности капель и малой толщины завесы. Об этом свидетельствует элементарный расчет геометрического коэффициента экранирования f' (см. (25)), который для заданных параметров завесы равен 0,083. Такое малое общее сечение капель может дать только очень слабые полосы поглощения воды, которые незаметны на общем фоне спектра. Таким образом, 91,7 % общего теплового потока проходит через водяную завесу беспрепятственно, если не считать рассеяния и взаимодействия с газовой средой. Именно

взаимодействие с газовой средой (водяной пар и углекислый газ) приводит к появлению в спектре ярко выраженных полос поглощения, которые, впрочем, должны были бы существовать и при отсутствии водяной завесы. В то же время эти полосы отсутствуют в расчетных спектрах на рис. 8 и 10,б, поскольку в соответствующую математическую модель [1] не заложено взаимодействие излучения с газовой средой (это модель экранирования излучения распыленной водой, а не газовой средой).

Исходя из вышеизложенного, проходящий через водяную завесу без взаимодействия с каплями тепловой поток должен обуславливать интегральный коэффициент пропускания приблизительно 0,917. Примерно такую величину спектрального коэффициента пропускания (около 0,923) мы получили и в спектре на рис. 10,б на том участке, где коэффициент поглощения воды достаточно велик. В то же время на рис. 10,а коэффициент пропускания вне полос поглощения газов существенно меньше и составляет около 0,84. Это может быть связано с апертурным эффектом, т. е. с ограничением лучистого теплового потока по углам его падения на водяную завесу и углам регистрации рассеянных лучей входной оптикой детектора. При увеличении соответствующих телесных углов (в случае реального пожара, при отсутствии угловых ограничений для теплового потока) на детектор попадут рассеянные лучи с большей площади водяной завесы, и коэффициент пропускания увеличится.

Следует сказать, что, наряду с [2], и в других работах этих авторов [4–7] исследуются водяные завесы с низкими значениями геометрического коэффициента экранирования f . Например, для данных, представленных в работе [4], в результате расчета по формуле (25) получим $f = 0,038$. О малой доле участия жидкой воды в поглощении теплового излучения свидетельствует также приведенный в данных работах общий вид спектров пропускания, в которых (как и на рис. 10,а) доминируют полосы поглощения водяного пара и углекислого газа. По сути, это спектры пропускания не водяных завес, а влажного воздуха. Водяные капли в этом случае поглощают лишь незначительную часть теплового потока,

тем не менее вследствие процесса рассеяния изменяют его угловое распределение. Кроме того, за счет испарения капель несколько увеличивается концентрация водяного пара.

Для того чтобы поглощение теплового излучения в каплях существенно влияло на процесс теплового экранирования, геометрический коэффициент экранирования f нужно увеличить примерно на порядок по сравнению с приведенным в работах [2–8]. Таким образом, работы [2–8] не могут быть использованы для сравнения с результатами, полученными в данной работе.

В то же время с целью верификации развитой в [1] математической модели необходимо сравнить полученные на ее основе результаты с аналогичными результатами, полученными в экспериментах. К сожалению, и среди других опубликованных работ, содержащих результаты экспериментальных исследований, не удалось найти такие, которые можно было бы использовать с этой целью. Например, в работе [10] представлены результаты экспериментов по экранированию теплового излучения от пропановой горелки, а также масштабных исследований с использованием пламени горящего бассейна с топливом. Но в работе отсутствуют данные по концентрации капель в водяных завесах, в связи с чем даже оценочные расчеты коэффициента пропускания для сравнения с экспериментом выполнить невозможно. То же самое можно сказать и по поводу других работ, например [11, 12].

Зависимость интегрального коэффициента пропускания от удельного содержания воды в завесе

В связи с невозможностью верификации по экспериментальным данным нами было проведено сравнение результатов настоящей работы с результатами теоретических расчетов, полученными другими авторами с использованием теории Ми. Для этого были использованы результаты работ [9, 13, 14].

На рис. 11,а представлены полученные расчетным путем [9] графические зависимости коэффи-

циента пропускания водяной завесы для излучения абсолютно черного тела при температуре $T = 1273$ К от массовой доли воды w_{mm} при толщине водяной завесы 3 м. При данном расчете не учитывалось ослабление излучения газовой средой.

На рис. 11,б представлены результаты аналогичных расчетов для тех же параметров по методике [1]. При сравнении графиков на рис. 11,а и 11,б можно сделать вывод, что они дают достаточно близкие результаты. Существенная разница заключается лишь в том, что при увеличении массовой доли воды коэффициент пропускания на рис. 11,б стремится к нулю, а на рис. 11,а — к некоторой постоянной величине, близкой к 0,1, что вряд ли можно объяснить физически.

На рис. 12,а представлены полученные в [13] расчетным путем графические зависимости коэффициента пропускания водяной завесы для излучения абсолютно черного тела при температуре $T = 1300$ К от массовой концентрации капель w_{mv} (г/м^3) при толщине завесы 0,5 м и разных диаметрах капель.

На рис. 12,б представлены результаты аналогичных расчетов для тех же параметров по методике [1] (за исключением диаметра капель 1 мкм, для которого расчеты в приближении геометрической оптики являются неадекватными). Следует признать, что графики на рис. 12,а и 12,б достаточно хорошо согласуются.

На рис. 13,а представлены полученные расчетным путем [14] графические зависимости коэффициента пропускания водяной завесы от массовой концентрации капель w_{mv} (г/м^3) для монохроматического излучения с длиной волны 2 мкм при толщине завесы 3 м и разных диаметрах капель.

На рис. 13,б представлены результаты аналогичных расчетов для тех же параметров по формуле (21). Сравнение графиков на рис. 13,а и 13,б свидетельствует о значительном расхождении результатов расчетов. Для малых диаметров капель и больших значений массовой концентрации капель это несоответствие составляет несколько порядков величины. Учитывая фактическую идентичность расчетных

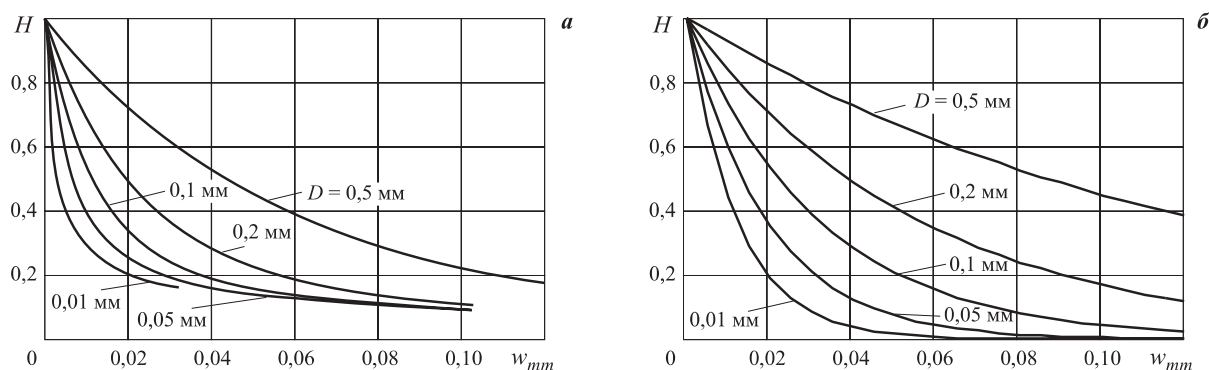


Рис. 11. Зависимости коэффициента пропускания от массовой доли воды в завесе: а — по данным [9]; б — расчет по формуле (1)

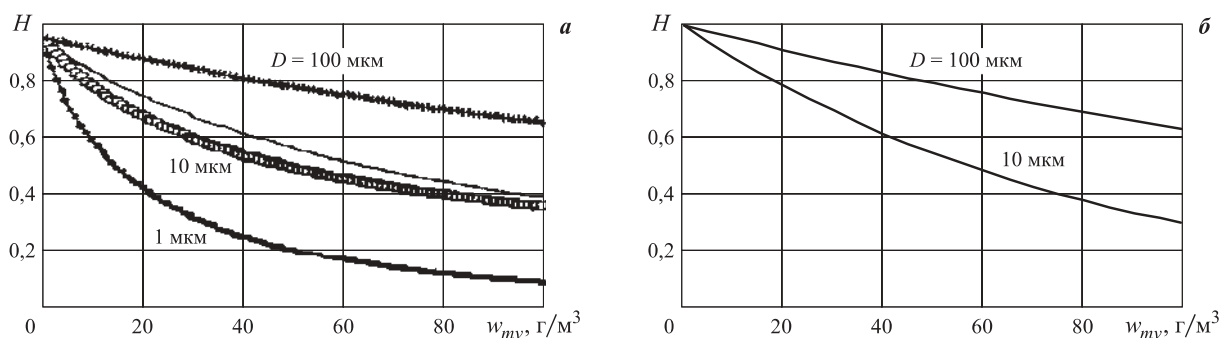


Рис. 12. Зависимости коэффициента пропускания от массовой концентрации капель в завесе: а — по данным [13]; б — расчет по формуле (1)

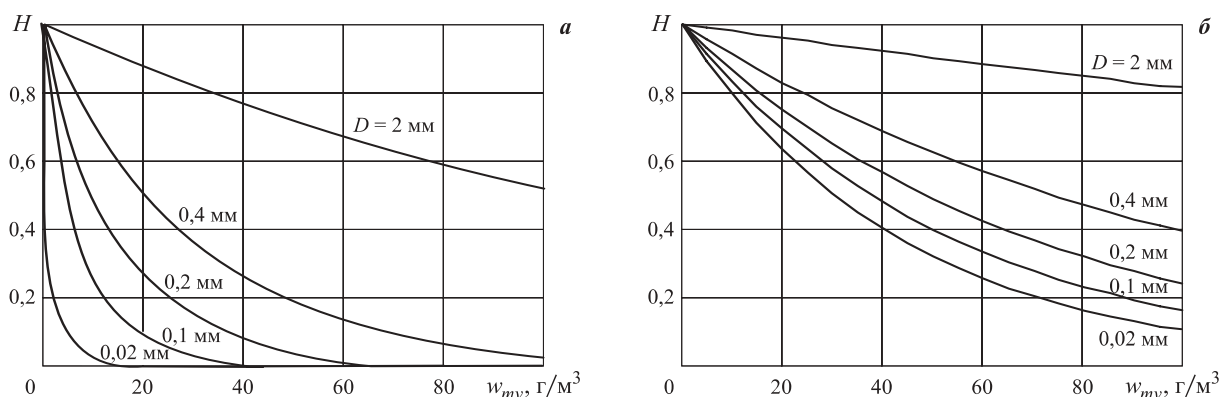


Рис. 13. Зависимости коэффициента пропускания от массовой концентрации капель в завесе: а — по данным [14]; б — расчет по формуле (21)

формул (22) для рис. 13,а и (21) для рис. 13,б, которые могут отличаться только величиной фактора ослабления K , такое несоответствие можно объяснить ошибками, допущенными при расчете. Теоретический анализ и численные расчеты показали, что изменение только фактора K в пределах от 0 до 1 не может так сильно изменить расчетное значение коэффициента пропускания водяной завесы.

Выводы

В приближении равенства длин пути лучей внутри капли выполнен расчет и найдена эффективная длина лучей, соответствующая усредненному поглощению падающего на каплю лучистого теплового потока. С учетом найденной эффективной длины пути лучей определены уточненные расчетные формулы для коэффициентов пропускания сферической капли воды и водяной завесы. Расчетные формулы (1), (2), (15)–(17) позволяют выполнить приближенный расчет коэффициента пропускания монодисперсной однородной водяной завесы постоянной толщины для заданной эффективной температуры источника теплового излучения (очага пожара) в предположении, что спектр его излучения соответствует спектру абсолютно черного тела.

На основе расчетных формул в приближении геометрической оптики выполнены расчеты спектров

пропускания водяной завесы для монохроматического излучения. Выявлено их несоответствие результатам ранее опубликованных работ [2–8], в которых представлены экспериментальные данные и расчетные спектры, полученные с использованием теории Ми. В результате теоретического анализа сделан вывод о том, что главными причинами такого несоответствия является использование в работах [2–8] водяных завес с низкой концентрацией капель, ограничение теплового излучения по телесным углам, учет в качестве поглощающих сред водяного пара и углекислого газа.

Выполнены также расчеты зависимостей коэффициента пропускания водяной завесы от удельного содержания жидкой воды и сравнение полученных результатов с литературными данными. Такое сравнение показало удовлетворительное согласие полученных результатов с данными работ [9, 13] и значительное расхождение с результатами, представленными в [14].

В развитие настоящей работы предполагается усовершенствование данной математической модели по следующим направлениям:

1) учет распределения капель водяной завесы по размерам и вывод расчетных формул для полидисперсной водяной завесы;

2) учет реальных спектров теплового излучения от различных очагов пожара и разработка соответствующих методов расчета коэффициентов пропускания водяных завес;

3) учет влияния вторичного воздушного потока на пространственное распределение капель и экраняющие свойства водяной завесы;

4) анализ изменения температуры капель под воздействием поглощенного лучистого теплового потока;

5) анализ процесса испарения капель и его влияния на коэффициент пропускания водяной завесы.

Кроме того, предусматривается выполнение экспериментальных исследований с целью верификации математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А. Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 73–82.
2. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. — 2005. — Vol. 92. — P. 85–110.
3. Dembele S., Wen J. X., Sacadura J. F. Experimental study of water sprays for the attenuation of fire thermal radiation // ASME J. Heat Transfer. — 2001. — Vol. 123, No. 3. — P. 534–543.
4. Parent G., Boulet P., Gauthier S., Blaise J., Collin A. Experimental investigation of radiation transmission through a water spray // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. — 2006. — Vol. 97, No. 1. — P. 126–141.
5. Boulet P., Collin A., Parent G. Monte Carlo simulation of radiation shielding by water curtains // Proceedings of Eurotherm'78 — Computational Thermal Radiation in Participating Media II, Poitiers — France, 2006. — P. 53–62.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source // Fire Safety J. — 2006. — Vol. 41, No. 1. — P. 15–30. URL : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/37/28/PDF/Boulet2006.pdf>.
7. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. — 2010. — Vol. 57. — P. 537–553.
8. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to Fire Protection of the LNG Storage Tank Using Water Curtain // Int. J. of Thermal & Environmental Engineering. — 2011. — Vol. 2, No. 2. — P. 91–98.
9. Yang W., Parker T., Ladouceur H., Kee R. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety J. — 2004. — Vol. 39. — P. 41–66.
10. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain // J. Loss Prev. Process Industries. — 2005. — Vol. 18, No. 4–6. — P. 423–432. URL : <http://www.iitk.ac.in/che/jpg/papersb/full%20papers/B-%2071.pdf>.
11. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtains // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2009. — No. 1. — P. 7–13.
12. Chow W. K., Ma E. Y. L., Ip M. K. K. Recent experimental studies on blocking heat and smoke by a water curtain // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2011. — Vol. 10, No. 4. — P. 89–95.
13. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains // Fire Safety J. — 1993. — Vol. 20. — P. 241–255.
14. Ravigururajan T. S., Beltao M. R. A Model for Attenuation of Fire Radiation Through Water Droplets // Fire Safety J. — 1989. — Vol. 15. — P. 171–181.
15. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. — М. : Гостехиздат, 1951. — 288 с.
16. Виноградов А. Г. Розсіяння теплового випромінювання сферичними краплями води // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. — 2005. — № 47. — С. 51–54.
17. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. — М. : Мир, 1986. — 664 с.
18. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. — М. : Мир, 1987. — 280 с.
19. Ландсберг Г. С. Оптика. — М. : Наука, 1976. — 928 с.
20. Hale G. M., Querry M. P. Optical Constants of Water in the 200 nm to 200 mm Wavelength Region // Appl. Optics, 1973. — Vol. 12, No. 3. — P. 555–563.

Материал поступил в редакцию 22 января 2013 г.

THERMAL RADIATION ABSORPTION BY WATER CURTAINS. PART 2

VINOGRADOV A. G., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Combustion Processes, Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes (Onoprienko St., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine; e-mail address: vin_ag@mail.ru)

ABSTRACT

This paper deals with the problem of simulation of water curtains used as fire protection walls. The central objective of the study is to characterize the interaction of the water spray with thermal radiation. Radiative properties for the droplets are calculated applying the geometrical optics approximation. The calculations executed on the basis of earlier developed mathematical model allowed obtaining more precise formulas for a transmittance of a water spherical droplet. These formulas have been used to calculate transmission spectra of water curtains for heat radiation of a near infrared range 1–10 μm . According to the received formulas, the transmittance of a water curtain depends on the size of droplets, specific water loading and curtain thickness. The form of transmission spectra of a water curtain is defined by dependence of an absorption coefficient of water on a radiation wavelength. The analysis of spectra from some references allowed concluding that this dependence does not influence their form owing to low specific water loading. Its spectral features are defined by the gas components of water curtains, and it is the main reason of discrepancy of calculated spectra of this work and some references. Calculated dependences of a water curtain transmittance on the water loading demonstrate acceptable agreement with the results presented in some other references.

Keywords: water curtain; heat radiation; transmittance; geometrical optics approximation.

REFERENCES

1. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami [Thermal radiation absorption by water curtains]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 73–82.
2. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2005, vol. 92, pp. 85–110.
3. Dembele S., Wen J. X., Sacadura J. F. Experimental study of water sprays for the attenuation of fire thermal radiation. *ASME J. Heat Transfer*, 2001, vol. 123, no. 3, pp. 534–543.
4. Parent G., Boulet P., Gauthier S., Blaise J., Collin A. Experimental investigation of radiation transmission through a water spray. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2006, vol. 97, no. 1, pp. 126–141.
5. Boulet P., Collin A., Parent G. Monte Carlo simulation of radiation shielding by water curtains. *Proc. Eurotherm'78 — Computational Thermal Radiation in Participating Media II*, Poitiers — France, 2006, pp. 53–62.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source. *Fire Safety J.*, 2006, vol. 41, no. 1, pp. 15–30. Available at: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/37/28/PDF/Boulet2006.pdf>.
7. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2010, vol. 57, pp. 537–553.
8. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoun K. Contribution to Fire Protection of the LNG Storage Tank Using Water Curtain. *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 91–98.
9. Yang W., Parker T., Ladouceur H., Kee R. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression, *Fire Safety J.*, 2004, vol. 39, pp. 41–66.
10. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain. *J. Loss Prev. Process Industries*, 2005, vol. 18, no. 4–6, pp. 423–432. Available at: <http://www.iitk.ac.in/che/jpg/papersb/full%20papers/B-%2071.pdf>.
11. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtains. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2009, no. 1, pp. 7–13.
12. Chow W. K., Ma E. Y. L., Ip M. K. K. Recent experimental studies on blocking heat and smoke by a water curtain. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2011, vol. 10, no. 4, pp. 89–95.

13. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains. *Fire Safety J.*, 1993, vol. 20, pp. 241–255.
14. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for Attenuation of Fire Radiation Through Water Droplets. *Fire Safety J.*, 1989, vol. 15, pp. 171–181.
15. Shifrin K. S. *Rasseyaniye sveta v mutnoy srede* [Light scattering in a turbid medium]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1951. 288 p.
16. Vinogradov A. G. Rozsiyannya teplovogo viprominyuvannya sferichnimi kraplyami vodi [Scattering of thermal radiation by spherical water droplets]. *Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta Ukrainy "Kievskiy politekhnicheskiiy institut", ser. Mashinostroyeniye — Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"*, 2005, no. 47, pp. 51–54.
17. Bohren C. F., Huffman D. R. *Absorption and scattering of light by small particles*. New York, John Wiley & Sons, 1983. 530 p.
18. Reist P. C. *Introduction to Aerosol Science*. New York, Macmillan, 1984. 299 p.
19. Landsberg G. S. *Optika* [Optics]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 928 p.
20. Hale G. M., Querry M. P. Optical constants of water in the 200 nm to 200 mm wavelength region. *Appl. Optics*, 1973, vol. 12, no. 3, pp. 555–563.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГNETУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины «Основы безопасности жизнедеятельности» в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

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

А. И. ДУМИЛИН, главный специалист ФАУ "Главгосэкспертиза России"
(Россия, 101990, г. Москва, Фуркасовский пер., 12/5; e-mail: dumilinandrei@mail.ru)

УДК 614.842.612

ПАРАМЕТРЫ ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Решена задача по тушению пламени горючей жидкости при испарении капель воды на ее поверхности, сопровождающееся охлаждением поверхностного слоя топлива до температуры, при которой пламя гаснет. Показано, что применение метода интегрального теплового баланса позволяет свести интегрирование уравнения в частных производных к обыкновенному дифференциальному уравнению. Найдено приближенное решение, которое содержит только элементарные функции и позволяет просто интерпретировать получаемые экспериментальные данные. Установлено, что полученные результаты применимы для горючих жидкостей с температурой вспышки более 100 °С.

Ключевые слова: горючая жидкость; время тушения; интенсивность подачи воды; распыленная вода.

Известно, что наиболее распространенным средством пожаротушения до настоящего времени является вода, а наиболее эффективным способом ее использования — подача в распыленном состоянии. Попытки использовать воду для тушения пламени горючих жидкостей предпринимались давно и проводились в двух направлениях: прекращение горения путем нарушения теплового равновесия между пламенем и окружающей средой при испарении капель в зоне реакции и понижение температуры поверхности горючей жидкости до температуры, соответствующей тушению пламени. Во втором случае пламя тушится за счет уменьшения поступления паров топлива от поверхности раздела фаз в область диффузионного смешения горючего и окислителя.

Среди работ, посвященных действию распыленной воды на пламя, значительный интерес представляют исследования Блинова и Худякова [1, 2], Герасимова, Петрова и Реутта [3, 4], Баратова [5, 6] а также других авторов [7–17].

Наиболее полные сведения, связанные с выяснением механизма огнетушащего действия распыленной воды, были приведены Блиновым и Худяковым [1, 2]. В работах [1–4] показано, что тушение пламени легкокипящих жидкостей обусловлено не воздействием воды на поверхность горящего топлива, не охлаждением этой поверхности, а испарением большого количества капель на пути их следования от форсунки к горящему продукту. При введении распыленной воды в пламя происходит образование водяного пара, что приводит к охлаждению пламени, разбавлению смеси паров топлива и воздуха, а также к торможению поступления воздуха в область, прилегающую к поверхности жидкости в резервуаре.

Если дисперсность и плотность потока воды оказываются недостаточными для тушения факела пламени, капли достигают зеркала горючей жидкости, испаряются на ней, охлаждая ее поверхность, и пламя гаснет вследствие недостатка паров топлива, поступающего в зону реакции горения, парциальное давление которых определяется температурой жидкости. Так, Блинов и Худяков [1], изучая тушение нефтепродуктов, установили, что капли распыленной воды размером более 100–300 мкм не оказывают заметного охлаждающего действия на факел пламени и при испарении отбирают тепло только от верхнего слоя горячей жидкости. Такое охлаждение быстро прекращает горение тяжелых нефтепродуктов. При этом профиль температуры в топливе изменяется, и кривые, определяющие зависимость разности между текущей и начальной температурами от глубины топлива, имеют вид, приведенный на рис. 1. Как видно из рисунка, в этом случае нет необходимости снижать температуру всего объема горючего; достаточно добиться охлаждения только тонкого поверхностного слоя, что и происходит в процессе тушения. При этом на поверхности испаряется только часть подаваемого потока воды, остальные капли тонут и испаряются в объеме топлива. На поверхности жидкости капли могут дробиться, и на границе раздела *воздух – жидкость* наблюдаются сложные явления, сходные с явлениями при испарении капли на твердой нагретой поверхности.

Настоящая работа посвящена исследованию механизма тушения пламени при испарении капель воды на ее поверхности, сопровождающемся охлаждением поверхностного слоя топлива до температуры, при которой пламя гаснет. В связи с этим приведенные ниже результаты могут быть применимы

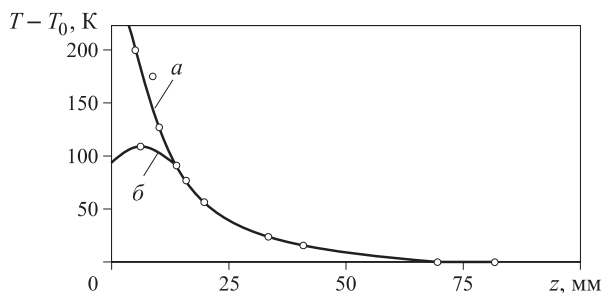


Рис. 1. Распределение температуры в дизельном топливе до начала (а) и во время (б) тушения

для горючих жидкостей с температурой вспышки более 100 °С и неприменимы для легковоспламеняющихся жидкостей.

Рассмотрим изменение теплового состояния для жидкости с однородным профилем распределения температуры, равным температуре кипения.

В рамках рассматриваемой модели задача о тушении горючей жидкости распыленной водой сводится к решению уравнения теплопроводности с заданными начальными и граничными условиями. Целью решения задачи является поиск основной характеристики процесса тушения — функциональной связи между временем тушения и интенсивностью подачи воды.

Если выбрать подвижную систему координат, связанную с поверхностью горючей жидкости, и направить ординату внутрь этой жидкости, то уравнение теплопроводности можно записать в виде

$$cp \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + cm \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

где c , ρ , λ — теплоемкость, плотность и теплопроводность горючей жидкости;

T — температура;

t — время;

x — координата;

m — скорость выгорания жидкости.

Так как процесс тушения протекает в сравнительно узком диапазоне изменения температуры горючей жидкости [1], при решении задачи будем считать, что скорость выгорания и теплофизические параметры жидкости являются постоянными величинами и не зависят от температуры.

Для полного математического описания рассматриваемого процесса к дифференциальному уравнению (1) добавим начальное и граничные условия:

$$t = 0, \quad T = T_k; \quad (2)$$

$$x = \infty, \quad T = T_k; \quad (3)$$

$$x = 0, \quad \lambda (\partial T / (\partial x)) = Ir\omega, \quad (4)$$

где T_k — температура кипения жидкости;

I — интенсивность орошения водой поверхности горючей жидкости;

r — теплота испарения воды;

ω — коэффициент использования воды на поверхности топлива (доля испарившейся воды за время тушения).

Для решения системы (1)–(4) удобно ввести безразмерные величины:

$$\bullet \text{ время } \tau = (m^2 c / (\rho \lambda)) t; \quad (5)$$

$$\bullet \text{ координату } \xi = (mc / \lambda) x; \quad (6)$$

$$\bullet \text{ температуру } \theta = \frac{T_k - T}{T_k - T_0}, \quad (7)$$

где T_0 — температура окружающей среды.

Переходя к безразмерным переменным, дифференциальное уравнение, начальное и граничные условия задачи запишем в виде:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial \theta}{\partial \xi}; \quad (8)$$

$$\tau = 0, \quad \theta = 0; \quad (9)$$

$$\xi = 0, \quad -\partial \theta / (\partial \xi) = \eta; \quad (10)$$

$$\xi = \infty, \quad \theta = 0, \quad (11)$$

где η — безразмерная интенсивность подачи распыленной воды:

$$\eta = \frac{Ir\omega}{cm(T_k - T_0)}. \quad (12)$$

Решим систему уравнений (8)–(12) методом интегрального теплового баланса [18].

Будем считать, что при испарении капель огнетушащего вещества на поверхности горючего тепло, являющееся функцией времени, отбирается от слоя ограниченной толщины $\Delta(\tau)$. При этом в момент времени $\tau = 0$ толщина безразмерного слоя $\Delta = 0$, так как слой, от которого осуществляется отток тепла, не успевает сформироваться.

Граничные условия на “холодном конце” полуграниченного тела зададим не на бесконечности, а на границе слоя толщиной Δ :

$$\xi = \Delta, \quad \theta = 0. \quad (13)$$

Для того чтобы система уравнений (8)–(10) и (13) позволила получить решение в замкнутом виде, к ней следует добавить дополнительное условие, формулирующее отсутствие теплового потока в сторону холодной жидкости:

$$\xi = \Delta, \quad \partial \theta / (\partial \xi) = 0. \quad (14)$$

Умножим каждый член уравнения (8) на $d\xi$ и, интегрируя его по толщине слоя Δ , получим:

$$\int_0^\Delta \frac{\partial \theta}{\partial \tau} d\xi = \int_0^\Delta \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} d\xi + \int_0^\Delta \frac{\partial \theta}{\partial \xi} d\xi; \quad (15)$$

$$\int_0^\Delta \frac{\partial \theta}{\partial \xi} d\xi = \theta(\tau, \Delta) - \theta(\tau, 0); \quad (16)$$

$$\int_0^{\Delta} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} d\xi = \frac{\partial \theta(\tau, \Delta)}{\partial \xi} - \frac{\partial \theta(\tau, 0)}{\partial \xi}. \quad (17)$$

Соответствующее выражение для первого члена уравнения (8) найдем с помощью правила дифференцирования под знаком интеграла:

$$\int_0^{\Delta} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} d\xi = \frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} \theta(\tau, \xi) d\xi - \theta(\tau, \Delta) \frac{d\Delta}{d\tau}. \quad (18)$$

Подставим уравнения (16)–(18) в (8). С учетом принятых условий (13) и (14) имеем:

$$\frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} \theta(\tau, \xi) d\xi = -\theta(\tau, 0) - \frac{\partial \theta(\tau, 0)}{\partial \xi}. \quad (19)$$

Будем искать распределение температур внутри слоя Δ в виде полинома второй степени, коэффициенты которого зависят только от времени и не зависят от координаты:

$$\theta = \beta_0 + \beta_1 (\Delta - \xi) + \beta_2 (\Delta - \xi)^2. \quad (20)$$

Определяя коэффициенты полинома с помощью граничных условий (10), (13) и (14), имеем:

$$\beta_0 = 0, \quad \beta_1 = 0, \quad \beta_2 = \eta / (2\Delta). \quad (21)$$

Тогда распределение температур (20) можно записать в виде

$$\theta = \frac{\eta}{2\Delta} (\Delta - \xi)^2. \quad (22)$$

Подставляя равенство (22) в (19), получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными для безразмерной толщины слоя Δ :

$$\Delta \frac{d\Delta}{d\tau} = 3 \left(1 - \frac{\Delta}{2} \right). \quad (23)$$

Учитывая, что при $\tau = 0$ $\Delta = 0$, и интегрируя уравнение (23), найдем:

$$\tau = -2/3 [\Delta + 2 \ln(1 - \Delta/2)]. \quad (24)$$

В полученной зависимости связь между интенсивностью орошения и временем тушения осуществляется неявным образом через уравнение (22). Принимая в уравнении (22) $\xi = 0$, найдем выражение для температуры поверхности жидкости:

$$\theta_s = \eta \Delta / 2. \quad (25)$$

Выразив в (25) величину Δ через θ_s и подставив ее в уравнение (24), получим:

$$\tau = -4/3 [\theta_s / \eta + \ln(1 - \theta_s / \eta)]. \quad (26)$$

Уравнение (26) описывает изменение температуры поверхности топлива с учетом воздействия охлаждающего потока с момента начала подачи распыленной воды до ликвидации горения жидкости. Тушение наступает, когда концентрация паров горючей жидкости в зоне пламени уменьшается до критической величины [17]. Этому состоянию соответ-

ствует температура поверхности горючей жидкости, равная температуре тушения $\theta_s = \theta_T$. Заменяя в уравнении (26) температуру поверхности на температуру тушения, находим:

$$\tau = -4/3 [\theta_T / \eta + \ln(1 - \theta_T / \eta)], \quad (27)$$

где

$$\theta_T = \frac{T_k - T_T}{T_k - T_0}. \quad (28)$$

Найденное приближенное решение содержит только элементарные функции и позволяет просто интерпретировать получаемые экспериментальные данные. В частности, в уравнении (27) время τ является уже не текущим временем, а временем тушения жидкости, зависящим от интенсивности орошения (параметра η).

Известно, что ликвидация пламени горючих жидкостей достигается при интенсивности орошения водой, превышающей некоторое предельное значение, называемое критической интенсивностью подачи. Если интенсивность подачи меньше критической, то время тушения стремится к бесконечности, т. е. пламя не тушится.

Из уравнения (27) видно, что $\tau \rightarrow \infty$ при

$$\theta_T = \eta. \quad (29)$$

Подставим в полученное соотношение обозначения (12), (28) и, учитывая, что при выполнении условия (29) $I = I_{кр}$, получим:

$$I_{кр} = \frac{cm(T_k - T_T)}{\omega r}. \quad (30)$$

Коэффициент ω , входящий в уравнение (30), учитывает долю потока воды, участвующую в охлаждении поверхности слоя жидкого топлива, и принимает значения меньше единицы. Если подаваемая на поверхность горящей жидкости вода полностью испаряется ($\omega = 1$) и момент тушения соответствует критическому условию, то теоретическое значение критической интенсивности тушения будет выражено уравнением

$$I_{кр}^T = cm(T_k - T_T) / r. \quad (31)$$

Однако в процессе тушения вода расходуется не только на охлаждение поверхностного слоя горючей жидкости. Капли воды испаряются в зоне пламени, уносятся продуктами сгорания, часть капель тонет, не оказывая заметного влияния на охлаждение поверхности топлива. В связи с этим для достижения эффекта тушения необходимо подать воды больше, чем ее требуется только для охлаждения тонкого поверхностного слоя. Суммарный учет вышеперечисленных факторов осуществляется с помощью коэффициента использования воды ω , представляющего собой отношение теоретически необходимого для тушения количества воды к реально-

му. Тогда для критической интенсивности подачи воды можно записать:

$$I_{кр} = I_{кр}^T / \omega. \quad (32)$$

Из последнего выражения следует, что расчет $I_{кр}$ сводится к поиску взаимосвязи с параметрами задачи безразмерной величины ω , так как значение $I_{кр}^T$ известно.

Применим полученные соотношения для уравнения тушения (27).

Подставляя в (27) соотношения (12) и (28), с учетом равенства (30) найдем:

$$\tau = -4/3 [I_{кр}/I + \ln(1 - I_{кр}/I)]. \quad (33)$$

Заменяя безразмерное время τ размерной величиной t , в соответствии с обозначением (5) получим связь времени тушения с интенсивностью орошения поверхности горящей жидкости водой:

$$t = -\frac{4}{3} \frac{\lambda \rho}{cm^2} \left[\frac{I_{кр}}{I} + \ln \left(1 - \frac{I_{кр}}{I} \right) \right]. \quad (34)$$

Располагая данными о критической интенсивности, по уравнению (34) нетрудно рассчитать кривую тушения, определяющую зависимость времени тушения от интенсивности подачи распыленной воды.

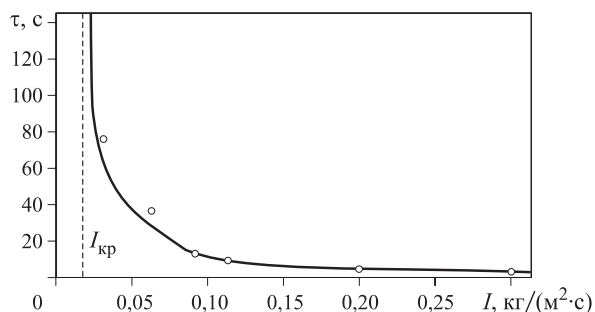


Рис. 2. Зависимость времени тушения пламени хлопкового масла от интенсивности подачи распыленной воды

На рис. 2 приведены результаты расчета кривой тушения в резервуаре диаметром 2 м для хлопкового масла. Точки на рисунке соответствуют экспериментальным данным, заимствованным из работы [17].

Как видно из рис. 2, уравнение (34) находится в удовлетворительном соответствии с данными эксперимента. Однако такое соответствие наблюдается лишь в том случае, если из эксперимента известно значение $I_{кр}$. При отсутствии таких сведений, как это видно из соотношения (32), необходимо располагать данными о коэффициенте ω , который является функцией теплофизических параметров горючей жидкости и воды. Определение этой зависимости является задачей дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Блинов В. И. О некоторых вопросах, относящихся к горению и тушению пламени жидкостей в резервуарах // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов. — М.: Гостоптехиздат, 1960. — С. 22–29.
3. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: МКХ РСФСР, 1961. — 143 с.
4. Герасимов А. А., Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени нефтепродуктов распыленной водой // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов. — М.: Гостоптехиздат, 1960. — С. 84–98.
5. Баратов А. Н. Некоторые проблемы пожаротушения // Горение и проблемы тушения пожаров: матер. VII Всесоюз. науч.-практ. конф. — М.: ВНИИПО, 1981. — С. 3.
6. Баратов А. Н., Иванов Е. Н. Пожаротушение на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. — М.: Химия, 1971. — 365 с.
7. Rasbash D. J. The extinction of fires by water sprays // Fire Res. Abstr. Rev. — 1962. — Vol. 4, No. 1, 2. — P. 28–53.
8. Абдурагимов И. М., Вальчковский С. К., Ринков К. М., Яворский Г. А. О повышении эффективности и коэффициента использования воды огнетушащих составов при тушении пожаров твердых горючих материалов // Проблемы противопожарной защиты зданий и сооружений. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1978. — Вып. 3. — С. 8–19.
9. Андросов А. С., Лобода Н. В., Чернышов Н. Б. Исследование основных параметров тушения полимеров водой // Противопожарная техника и безопасность. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1981. — С. 47–53.
10. Кухто А. Н., Панин Е. Н. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи воды // Пожаротушение. — М.: ВНИИПО, 1984. — С. 84–93.
11. Аксенов В. П., Ройко В. М., Гришин В. В. Экспериментальное исследование тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой // Горение и проблемы тушения пожаров. — М.: ВНИИПО, 1979. — С. 240–245.
12. Гришин В. В., Аксенов В. П., Росляков В. И., Ройко В. М. Тушение пламени проливов горючих жидкостей в помещениях распыленной водой: экспресс-информация. Сер. 2. Пожарная техника и тушение пожаров. — М.: ВНИИПО, 1979. — 5 с.

13. Панин Е. Н. Методика определения огнетушащей способности воды // Пожаротушение. — М. : ВНИИПО, 1984. — С. 77–84.
14. Fuchs P. On the extinguishing effect of various extinguishing agents and extinguishing methods with different fuels // Fire Safety J. — 1984. — Vol. 7, No. 2. — P. 165–175.
15. Методика определения интенсивности подачи распыленной воды при тушении пожаров горючих веществ и материалов в помещениях экспресс-методом применительно к спринклерно-дренчерным системам пожаротушения (№ 54–80). — М. : ВНИИПО, 1980. — 16 с.
16. Горшков В. И. Применение интегрального теплового баланса в задачах тушения пламени // Пожарная профилактика технологических процессов в промышленности. — М. : ВНИИПО, 1987. — С. 26–35.
17. Горшков В. И., Попов С. А. Тушение пламени охлаждением поверхности горящей жидкости // Исследование процессов водопенного тушения пожаров. — М. : ВНИИПО, 1987. — С. 4–14.
18. Goodman T. R. The heat-balance integral and its application to problems involving a change of phase // Trans. Am. Mech. Eng. — 1958. — Vol. 80. — P. 335–342.

Материал поступил в редакцию 28.01.2013 г.

English

FACTORS OF EXTINGUISHING OF THE FLAME OF COMBUSTIBLE LIQUIDS BY SPRAYED WATER

DUMILIN A. I., Senior Specialist, Federal Autonomous Institutions "Office of State Examination" (FAA "Glavgosexpertiza Russia") (Furkasovskiy Ln., 12/5, Moscow, 101990, Russian Federation; e-mail address: dumilinandrei@mail.ru)

ABSTRACT

This article devoted to theoretical study of extinguishing of combustible liquids by the cooling its surface by drops of water for temperature putting out the flame.

In the context of the model problem of extinguishing comes to solution of thermal conductivity equation which allows for transference of surface by burning out with opening boundary conditions. To address this problem we search the basic property of extinguishing process — relating between time of extinguishing and rate of water input.

As far as extinguishing process runs over the narrow range changes of temperature of flame, burning-up rate and thermalphysic operation factors of liquid are constant and don't change.

The problem is solved by the method of integral heat balance that makes it possible to reduce the integration of a partial differential equation to an ordinary differential equation. The computed approximate solution comprises only elementary functions and enables a simple interpretation of the experimental data obtained. The total calculation of water drops evaporation in a flame zone on the surface of a liquid and in its volume is considered by the water use factor which constitutes a ratio of the amount of water theoretically necessary for fire extinguishing to its actual value.

From the computed solution it follows that there is a critical state when flame suppression of combustible liquids is achieved by irrigation intensity that is higher than a certain limiting value which is called a critical flow rate. By the flow rate lower than the critical one, the flame cannot be suppressed and the extinguishing time tends to infinity.

The given results are applicable to the combustible liquids with a flash point above 100 °C and are not applicable to flammable liquids.

Keywords: combustible liquid; time of extinguishing; flow rate of water; sprayed water.

REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Liquid diffusion combustion]. Moscow, Academy of Sciences USSR Publ., 1961. 208 p.
2. Blinov V. I. O nekotorykh voprosakh, odnosyashchikhsya k goreniyu i tusheniyu plameni zhidkostey v rezervuarakh [About some questions of combustion and extinguishing of the flame of liquids in reservoir]. *Novyye sposoby i sredstva tusheniya plameni nefteproduktov* [New means and ways of oil products fire extinguishing]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1960, pp. 22–29.

3. Petrov I. I., Reutt V. Ch. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing of the flame of combustible liquids]. Moscow, Ministry of Housing and Communal Services of RSFSR Publ., 1961. 143 p.
4. Gerasimov A. A., Petrov I. I., Reutt V. Ch. *Tusheniye plameni nefteproduktov raspylennoy vody* [Extinguishing of the flame of oil products by sprayed water]. *Novyye sposoby i sredstva tusheniya plameni nefteproduktov* [New means and ways of oil products fire extinguishing]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1960, pp. 84–98.
5. Baratov A. N. Nekotoryye problemy pozharotusheniya [Some problems of fire-fighting]. *Goreniye i problemy tusheniya pozharov: mater. VII Vsesoyuz. nauch.-prakt. konf.* [Burning and the problems of fighting fires. Proc. VII All-Union Scientific-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1981, p. 3.
6. Baratov A. N., Ivanov Ye. N. *Pozharotusheniye na predpriyatiyakh khimicheskoy, neftekhimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti* [Extinguishing of the fires on enterprises of chemical, petrochemical, oil-processing industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 365 p.
7. Rasbash D. J. The extinction of fires by water sprays. *Fire Res. Abstr. Rev.*, 1962, vol. 4, no. 1, 2, pp. 28–53.
8. Abduragimov I. M., Valchkovskiy S. K., Rinkov K. M., Yavorskiy G. A. O povyshenii effektivnosti i koeffitsiyenta ispolzovaniya vody ognetyashchikh sostavov pri tushenii pozharov tverdykh goryuchikh materialov [About efficiency and factor of employment water in extinguishing agents upgrading for extinguishing of solid combustible materials]. *Problemy protivopozharnoy zashchity zdaniy i sooruzheniy* [Problems of fire prevention of buildings and constructions]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1978, pp. 8–19.
9. Androssov A. S., Loboda N. V., Chernyshov N. B. Issledovaniye osnovnykh parametrov tusheniya polimerov vody [Investigation the main factors of extinguishing of polymers by water]. *Protivopozharnaya tekhnika i bezopasnost* [Fire-prevention technique and safety]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1981, pp. 47–53.
10. Kukhto A. N., Panin Ye. N. Zavisimost vremeni tusheniya ot intensivnosti podachi vody [Relation time of extinguishing and flow rate of water]. *Pozharotusheniye* [Fire-fighting]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1984, pp. 84–93.
11. Aksenov V. P., Royko V. M., Grishin V. V. Eksperimentalnoye issledovaniye tusheniya plameni goryuchikh zhidkostey raspylennoy vody [Experimental study of extinguishing of the flame of combustible liquids by sprayed water]. *Goreniye i problemy tusheniya pozharov* [Combustion and extinguishing fires]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1979, pp. 240–245.
12. Grishin V. V., Aksenov V. P., Roslyakov V. I., Royko V. M. *Tusheniye plameni prolivov goryuchikh zhidkostey v pomeshcheniyakh raspylennoy vody: ekspress-informatsiya. Ser. 2. Pozharnaya tekhnika i tusheniye pozharov* [Extinguishing of the flame of slopped combustible liquids in placement by sprayed water: express information. Series 2. Fire engineering and extinguishing of the fires]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1979. 5 p.
13. Panin Ye. N. Metodika opredeleniya ognetyashchey sposobnosti vody [Extinguishing method for determining the effectiveness of water]. *Pozharotusheniye* [Fire-fighting]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1984, pp. 77–84.
14. Fuchs P. On the extinguishing effect of various extinguishing agents and extinguishing methods with different fuels. *Fire Safety J.*, 1984, vol. 7, no. 2, pp. 165–175.
15. *Method for determining the flow rate of sprayed water for extinguishing of the flame of substances and materials in placements by express-method of sprinkler systems (No. 54–80)*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1980. 16 p. (in Russian).
16. Gorshkov V. I. Primeneniye integralnogo teplovogo balansa v zadachakh tusheniya plameni [The employment of integral thermal balance in extinguishing of the flame]. *Pozharnaya profilaktika tekhnologicheskikh protsessov v promyshlennosti* [Fire treatment for prevention of technological processes]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1987, pp. 26–35.
17. Gorshkov V. I., Popov S. A. Tusheniye plameni okhlazhdeniyem poverkhnosti goryashchey zhidkosti [Extinguishing of the flame by cooling of surface of burning liquid]. *Issledovaniye protsessov vodoropnogo tusheniya pozharov* [Study of processes water-foam extinguishing of the fires]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1987, pp. 4–14.
18. Goodman T. R. The heat-balance integral and its application to problems involving a change of phase. *Trans. Am. Mech. Eng.*, 1958, vol. 80, pp. 335–342.

**ВОПРОС:**

Какие принципиальные различия существуют между уровнями взрывозащиты 0, 1, 2 и Ga, Gb, Gc, входящих в маркировку Ex-оборудования, предназначенного для использования в газовых средах?

ОТВЕТ:

Помимо различия в самом обозначении данных уровней, есть и различия в самих названиях этих уровней. Цифровое обозначение уровней 0, 1, 2 было введено в ГОСТ 12.2.020–76* [1] и закреплено в “Правилах устройства электроустановок” (ПУЭ, 6-е изд.) [2]. Каждый уровень имел текстовую расшифровку, а именно:

- **0** — уровень “особовзрывобезопасное электрооборудование”;
- **1** — уровень “взрывобезопасное электрооборудование”;
- **2** — уровень “оборудование повышенной надежности против взрыва”.

В отличие от цифровых обозначений уровней, принятых в ГОСТе [1], новые буквенные обозначения, появившиеся в российских ГОСТах, заимствованы из зарубежных стандартов серии МЭК (IEC). На сегодняшний день в России введены ГОСТы серии Р МЭК 60079, которые официально устанавливают следующие буквенные и текстовые обозначения уровней:

- **уровень Ga** — очень высокий;
- **уровень Gb** — высокий;
- **уровень Gc** — повышенный.

При этом “старый” вариант обозначения уровней не отменен. В ГОСТ Р МЭК 60079-0–2011 [3] цифровое обозначение уровней 0, 1, 2 именуется как “дополнительное обозначение уровня взрывозащиты” и в обязательном порядке указывается в основной маркировке Ex-оборудования в соответствии с ГОСТ Р 51330.0–99 [4]. **Такая маркировка является некорректной, так как указание одного и того же параметра (уровня) дважды в одной маркировке не имеет смысла!** В аналогичном зарубежном стандарте IEC 60079-0:2011 [5] в маркировке Ex-оборудования указывается только “новый” вариант обозначения уровня взрывозащиты.

Важно отметить, что в некоторых случаях **не следует рассматривать прежнее и нынешнее обозначения уровней как одно и то же**. Этому есть ряд причин.

Во-первых, оборудование с обозначением уровня 0 (особовзрывобезопасное), выполненное по “старым” ГОСТам и промаркированное по ПУЭ [2], не обеспечит взрывобезопасность для класса зоны 0, определяемого по ГОСТ Р МЭК 60079-14–2008 [6], так как такое Ex-оборудование разрабатывалось для использования в самых опасных на тот момент взрывоопасных зонах класса В-I (по ПУЭ). На сегодняшний день обозначение класса зоны В-I отменено и взамен

его введены новые классы зон — 0, 1, 2, порядок определения которых имеет серьезные отличия, а следовательно, и порядок выбора Ex-оборудования для таких зон будет отличаться от прежнего.

Во-вторых, “новый” вариант обозначения уровней взрывозащиты Ex-оборудования напрямую взаимосвязан с классами взрывоопасных зон, независимо от вида и назначения электрооборудования (см. приложение I, табл. 1.1 [6]). В ПУЭ [2] данная взаимосвязь уровней и классов зон также присутствует, но отличается в зависимости от вида и назначения электрооборудования (см. гл. 7.3, табл. 7.3.10–7.3.12 [2]). Следовательно, “старые” и “новые” варианты обозначения уровней для одного и того же класса взрывоопасной зоны могут не совпадать.

В-третьих, каждый уровень взрывозащиты Ex-оборудования обеспечивается определенными видами взрывозащиты. Например, уровень взрывозащиты 0 может быть обеспечен:

- взрывозащитой вида “искробезопасная электрическая цепь «ia»”;
- специальным видом взрывозащиты “s”;
- взрывобезопасным электрооборудованием с дополнительными средствами взрывозащиты (см. п. 6.6 [4]).

В отличие от уровня 0 уровень Ga, помимо выше указанных видов, может обеспечиваться также видом взрывозащиты “герметизация компаундом «ma»”.

Данные причины показывают, что уровни взрывозащиты 0, 1, 2 и Ga, Gb, Gc отличаются друг от друга, поэтому **требуется серьезная доработка этого вопроса и внесение соответствующих корректировок в ГОСТ Р МЭК [3]**.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.2.020–76*. ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка. — Введ. 01.01.80 г. — М.: Госстандарт, 1980; ИПК Изд-во стандартов, 1996.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60079-0–2011. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. — Введ. 01.07.2012 г. — М.: Стандартинформ, 2012.
4. ГОСТ Р 51330.0–99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования. — Введ. 01.01.2001 г. — М.: Госстандарт России, 2001.
5. IEC 60079-0:2011. Explosive atmospheres — Part 0: Equipment — General requirements.
6. ГОСТ Р МЭК 60079-14–2008. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок. — Введ. 01.07.2010 г. — М.: Стандартинформ, 2009.

**ВОПРОС:**

Главой 5 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ установлена классификация пожаро-

опасных и взрывоопасных зон для выбора электротехнического и другого оборудования по степени их защиты. При этом ст. 18 и 19 Федерального закона № 123-ФЗ в отличие от ст. 27 данного закона при определении классов зон не различают помещения, в которых классифицируются зоны по их назначению (производственные, складские, общественные или жилые). В связи с этим в жилых, офисных помещениях и помещениях торговых залов могут присутствовать зоны классов П-IIa, а в помещениях кухонь жилых помещений с плитами, использующими в качестве топлива сжиженный или природный газы, — зоны класса 2. На практике в указанных помещениях применяется электрооборудование нормального исполнения, что, по сути, является нарушением требований части 1 ст. 82 закона № 123-ФЗ. Подлежат ли согласно требованиям гл. 5 данного закона классификации зоны в помещениях жилого и общественного назначения?

ОТВЕТ:

Хотелось бы сразу отметить, что “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” № 123-ФЗ (далее — Технический регламент) на сегодняшний день имеет много противоречий и несоответствий, которые по мере применения его на практике будут корректироваться и устраняться.

Вами было верно отмечено, что есть необходимость определить границы распространения гл. 5 Технического регламента касательно ее применения к помещениям различного назначения. Этот вопрос является одним из таких несоответствий, и ответа непосредственно в самом документе Вы не найдете. В п. 2 ст. 18 и п. 2 ст. 19 Технического регламента указано, что классификационные показатели взрывоопасной или пожароопасной зоны устанавливаются нормативными документами по пожарной безопасности. Помимо Технического регламента, существует ряд действующих ГОСТов и норм по пожарной безопасности, которые тоже не дают однозначного ответа на поставленный вопрос.

В ряде других нормативных источников имеются определенные обоснования, которые позволяют считать, что на жилые и общественные здания действие упомянутой гл. 5 не распространяется. Одним из таких источников являются “Правила устройства электроустановок” (ПУЭ, 6-е изд.), в частности гл. 7.3 и 7.4¹.

В гл. 7.4 определен порядок выбора и установки электрооборудования и сетей для пожароопасных зон. Область применения этой главы не распространяется на электроустановки жилых и общественных зданий, о чем говорится в п. 7.4.1. Порядок выбора электро-

оборудования для жилых и общественных зданий изложен в гл. 7.1 ПУЭ. Из этого следует, что внутреннее пространство помещений жилого и общественного назначения не классифицируются по их принадлежности к пожароопасным зонам.

Помимо этого, в гл. 7.3 (п. 7.3.9, прим. 1) указано, что в помещениях категорий А и Б электрооборудование должно удовлетворять требованиям этой главы к электроустановкам во взрывоопасных зонах соответствующих классов (т. е. применяться во взрывозащищенном исполнении). Но так как помещения жилых и общественных зданий не подлежат разделению на категории (см. п. 2 ст. 27 Технического регламента), то и определение взрывоопасной зоны и соответствующего ей электрооборудования в таких помещениях не проводится. Кроме того, в соответствии с п. 7.3.47 ПУЭ (6-е изд.) зоны в помещениях, в которых жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания (как и в случае газовых плит), не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным. Из вышесказанного следует, что зоны в помещениях жилого и общественного назначения не классифицируются по их принадлежности к взрывопожароопасным зонам, поэтому в них нет причин устанавливать или использовать взрывозащищенное электрооборудование.

На стадии проектирования любого объекта для исключения возможности образования взрывопожароопасных зон в его помещениях в обязательном порядке планируются все необходимые мероприятия с последующим проведением пожарно-технической экспертизы.

Данная информация является только отдельной точкой зрения специалистов, рассматривающих вопросы выбора электрооборудования для пожаровзрывоопасных зон, и не должна рассматриваться как официальный ответ на поставленный вопрос.

В проектной практике принято относить помещения жилых и общественных зданий к помещениям с нормальной средой. При этом классификация помещений с нормальной средой проводится с учетом общих свойств и характера окружающей среды (например, сухие, сырые, пыльные помещения) (разд. 1 ПУЭ). Для таких помещений необходимо осуществлять выбор электротехнических изделий (светильники, розетки, выключатели, провода и кабели) с учетом требований ГОСТ 14254–96 “Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)”, т. е. с определенной степенью защиты оболочки (IP).

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. ХАРАМЕНКОВ**

¹ Касательно вопроса правового статуса гл. 7.3 и 7.4 ПУЭ (6-е изд.) можно ознакомиться в рубрике “Вопрос–Ответ” данного журнала № 3 за 2013 г.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; 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 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 не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться 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 (полностью, на русском языке и транслитерация). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences, Prospekt Vernadskogo, 101, 119526 Moscow, Russian Federation.

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 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 (должно излагать существенные факты и результаты работы и не должно преувеличивать или включать материал, который отсутствует в основной части публикации);

■ структурированным (следовать логике описания результатов в публикации);

■ “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);

■ объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется 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 описывают предельно точно и информативно. 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, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

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

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. 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.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii "stal"—kompozit [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MG TU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem"* [Proc. of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Svешnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

GOST 8.586.5–2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkosti i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv* [State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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. 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.

4. 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 создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

5. 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.

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

8. Плата с аспирантов за публикацию работ не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена — 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена — 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена — 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена — 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена — 540 руб.
- 6 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена — 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена — 250 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-5-91444-021-X. Цена — 350 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена — 300 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена — 540 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена — 140 руб.
- 13 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена — 240 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена — 450 руб.
- 15 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена — 300 руб.
- 16 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена — 470 руб.
- 17 **Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия**. Цена — 980 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена — 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена — 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена — 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена — 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена — 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел./факс: (495) 735-28-13, (495) 228-09-03, 8-909-940-63-94; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
 - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
 - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
 - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
 - 5) способ доставки: самовывоз или почтовая.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е (2-е) полугодие 2013 г.

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2013 г.)	4950		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 735-28-13 или по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 301018104000000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-63-94**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

SENTEX**БЕЗОПАСНОСТЬ
ОХРАНА
СПАСЕНИЕ**

Россия • Нижний Новгород • Нижегородская ярмарка

10-13 сентября 2013 г.**ТЕМАТИКА ВЫСТАВКИ**

- Предупреждение и ликвидация ЧС



- Поисковая и аварийно-спасательная деятельность



- Пожарная безопасность



- Медицина катастроф



- Промышленная и экологическая безопасность



- Транспортная безопасность



- Оборудование и системы безопасности информации и связи



- Технические средства и системы безопасности. Охранное телевидение и наблюдение



- Охрана и безопасность труда

**ОРГАНИЗАТОРЫ**

Правительство Нижегородской области, Приволжский региональный центр МЧС России, ГУ МЧС России по Нижегородской области, Всероссийское добровольное пожарное общество, Нижегородское областное отделение Всероссийского добровольного пожарного общества, ЗАО «Объединение выставочных компаний «БИЗОН», Всероссийское ЗАО «Нижегородская ярмарка»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

МЧС России, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федерального агентства лесного хозяйства

КОНТАКТЫ ОРГАНИЗАТОРОВ

Телефоны: +7 (831) 277-55-95,
277-54-14, 277-56-90, 277-99-76
E-mail: sentex@yarmarka.ru,
alla@yarmarka.ru,
irina@yarmarka.ru,
ria@yarmarka.ru
Факс: +7 (831) 277-54-87



603086, г. Нижний Новгород, ул. Совнаркомовская, 13

<http://www.yarmarka.ru>