

9-2014

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН СТЪ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ИЗВЕЩАТЕЛИ ПОЖАРНЫЕ ГАЗОВЫЕ
И ГАЗСИГНАЛИЗАТОРЫ
ЗАГАЗОВАННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ



Пенообразователи **ШТОРМ**

Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

Шторм-ОН — синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения. Основная область применения: для нужд пожарных бригад в городах, для тушения лесов, деревянных строений, торфяников. Относится к биологически маловредным средствам (БИО). Срок годности пенообразователя до 5 лет, после чего необходимо либо проводить дополнительные исследования, либо использовать его для учений.

ГЕФЕСТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31
www.gefestnpk.ru
www.shtpena.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

БАКИРОВ И. К., ХАНОВА А. М.
Правомерность применения Технического регламента
о требованиях пожарной безопасности
и других нормативных документов в области
пожарной безопасности

6

BAKIROV I. K., KHANOVA A. M.
Legitimacy of the Technical regulations
on fire safety requirements
and other normative documents
in the field of fire safety

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ПОЛЕТАЕВ Н. Л.
Расчетно-экспериментальная оценка
максимального размера частиц взрывоопасной
монодисперсной аэрозвеси

15

POLETAEV N. L.
Experiment-calculated estimating of the maximum
particle size of explosive monodisperse
dust-air mixture

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

СМИРНОВ В. В., АЛЕКСЕЕВ С. Г., БАРБИН Н. М.
Связь показателей пожарной опасности с химическим
строением. XIV. Алкиламины

27

SMIRNOV V. V., ALEXEEV S. G., BARBIN N. M.
Correlation of fire hazard characteristics with chemical
structure. XVII. Alkylamines

КАЛАЧ А. В., СОРОКИНА Ю. Н.,
ЧЕРНИКОВА Т. В., ЧУЙКОВ А. М.
Дескрипторный метод в прогнозировании
пожароопасности органических соединений

38

KALACH A. V., SOROKINA Yu. N.,
CHERNIKOVA T. V., CHUYKOV A. M.
Descriptor method in forecasting fire hazard
of organic compounds

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

КИПЕР А. В., СТАНКЕВИЧ Т. С.
Алгоритмическое обеспечение интеллектуальной системы
поддержки принятия решений, предназначенной
для руководителя тушения пожара

45

KIPER A. V., STANKEVICH T. S.
Algorithmic support
of the intellectual decision support system
for the head of firefighting

ПУЗАЧ С. В., ДО ТХАНЬ ТУНГ
Условия возникновения "поддува" при работе систем
дымоудаления с естественным побуждением

57

PUZACH S. V., DO THANH TUNG
Conditions of "plugholing" in case of smoke
exhaust system of natural type

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

МАРКОВА Т. С., ТАРАНЦЕВ А. А.
Проблемы обеспечения безопасности
в зоологических парках мегаполисов

64

MARKOVA T. S., TARANTSEV A. A.
Security problems
in zoos megapolises

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

КОЗУБОВСКИЙ В. Р., ФЕДАК М. В.
Бытовые комбинированные приборы двойного
назначения: извещатели пожарные газовые
и газосигнализаторы загазованности помещений

73

KOZUBOVSKIY V. R., FEDAK M. V.
Combined devices with dual purpose: gas detectors
that warn about the presence of fire and measure
indoor gas pollution

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ЖУКОВ В. В.
Новое направление в противопожарном нормировании.
Чего не видит пожарная наука?

80

ZHUKOV V. V.
The new direction in fire prevention regulation.
That not seen by fire science?

ВОПРОС – ОТВЕТ

86

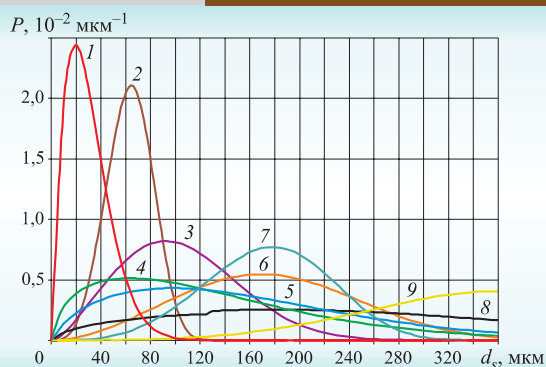
QUESTION – ANSWER

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

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей
ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). 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.



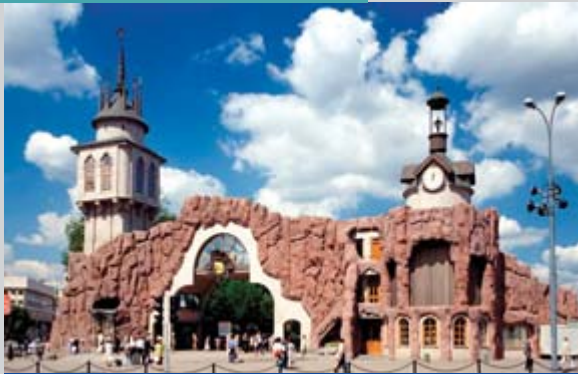
Правомерность применения Технического регламента



Оценка размера частиц взрывоопасной аэрозвеси

Стр. 6

Стр. 15



Обеспечение безопасности в зоопарках мегаполисов

Стр. 64



Извещатели пожарные газовые и газосигнализаторы

Стр. 73

Стр. 80



Новое направление в противопожарном нормировании

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)

Горбань Ю. И., генеральный директор – главный конструктор (Россия)

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

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

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член ВАНКБ (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, 8 (909) 940-01-85.

Адрес редакции: 121108, Россия, г. Москва, ул. Ивана Франко, д. 4, корп. 10 (фактический); 121352, г. Москва, а/я 43 (почтовый).

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

Подписано в печать 12.09.2014. Выход в свет 25.09.2014.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "КОДА"

(105082, Россия, г. Москва, Спартаковский пер., д. 2, стр. 1).

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

Editor-in-Chief **Korol'chenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Ivana Franko St., 4/10, Moscow,
121108, Russia.

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

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

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko 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)

Gorban Yu. I.,

General Director – Chief Designer (Russia)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korol'chenko D. A.,

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

Tamrazyan A. G.,

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

Signed for printing 12.09.2014

Date of publication 25.09.2014

Format is 60x84 1/8

Printing is 5 000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

М.: ООО «Издательство «Пожнаука», 2012. – 222 с.



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

И. К. БАКИРОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры “Пожарная и промышленная безопасность”, ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: bakirovirek@bk.ru)

А. М. ХАНОВА, магистрант ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

УДК 614.841.33

ПРАВОМЕРНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ДРУГИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Установлены существенные противоречия между отдельными статьями Технического регламента о требованиях пожарной безопасности, Гражданского кодекса и Конституции Российской Федерации. Определены противоречия в работе Государственного пожарного надзора Российской Федерации при проверке объектов нефтегазовой отрасли. Дан анализ позиции Департамента надзорной деятельности МЧС России по вопросам применения Технического регламента о требованиях пожарной безопасности. Сделаны выводы и разработаны рекомендации по действиям представителей объектов защиты при проведении проверок в области пожарной безопасности в условиях сегодняшних требований нормативных документов.

Ключевые слова: технический регламент; нормы пожарной безопасности; пожарная безопасность; права юридических лиц; права пожарного надзора.

*В стране, где есть порядок, будь смел
и в действиях, и в речах. В стране, где нет порядка,
будь смел в действиях, но осмотрителен в речах.*

Конфуций

Мы стараемся верить в то, что в нашей стране есть порядок, хотя часто в этом начинаем сомневаться. Нас, как активных деятелей в области обучения и предоставления услуг в области пожарной безопасности, почти при каждом проведении пожарно-технических минимумов, консультаций просят разъяснить, каков порядок применения нормативных документов в области пожарной безопасности и насколько правомерно инспектора Федерального государственного пожарного надзора контролируют выполнение тех или иных нормативных документов. В связи с тем что такие вопросы задаются часто, а также в связи с противоречиями в нормативных документах считаем сегодня эту тему одной из самых актуальных и интересных не только для руководителей объектов защиты, но и для наших уважаемых контролирующих органов в области пожарной безопасности, которым есть о чем подумать.

Остановимся на противоречиях в вопросах правомерности применения требований пожарной безопасности.

В ст. 151 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [1] записано, что со дня

вступления названного закона в силу требования к объектам защиты, установленные нормативными правовыми актами РФ и нормативными документами, подлежат обязательному исполнению в части, не противоречащей требованиям Технического регламента [1]. Другими словами, должны выполняться все требования строительных норм и правил (СНиП), норм пожарной безопасности (НПБ), ведомственных указаний (ВУПП), руководящих документов (РД) и т. д.

Однако в ст. 7 Федерального закона № 184-ФЗ “О техническом регулировании” [2] определено, что не включенные в технические регламенты технические требования не могут носить обязательный характер. Вот тут и возникает противоречие между двумя нормативными правовыми актами Российской Федерации в области пожарной безопасности.

В ст. 4 Федерального закона [2] написано, что “положения федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, касающиеся сферы применения настоящего Федерального закона (в том числе прямо или косвенно предусматривающие осуществление контроля (надзора)

за соблюдением требований технических регламентов), применяются в части, не противоречащей настоящему Федеральному закону». Но применяя ст. 151 [1], мы входим в противоречие со ст. 7 закона [2] и тем самым нарушаем ст. 4 закона [2].

Дополнительно проанализируем ст. 4 Гражданского кодекса Российской Федерации [3], которой установлено, что «акты гражданского законодательства не имеют обратной силы и применяются к отношениям, возникшим после введения их в действие». Однако в этой же статье записано, что «действие закона распространяется на отношения, возникшие до введения его в действие, только в случаях, когда это прямо предусмотрено законом» [3]. Иными словами, с одной стороны, это так, а с другой — если в законе написано, что это не так, значит, не так. А нельзя ли проще определить: или так, или не так, чтобы было понятно, что закон для большинства людей, живущих в России, а не для небольшого круга влиятельных и богатых лиц, стоящих у власти. А то у нас получается, что закон как «дышло»: куда «дунешь», там и «вышло», или «как хочу, так и ворочу».

Теперь вспомним ст. 54 нашего высшего нормативного правового акта — Конституции Российской Федерации [4]. В ней определено, что закон, устанавливающий ответственность, обратной силы не имеет, и никто не может нести ответственность за деяние, которое в момент его совершения не признавалось правонарушением [4]. И после этого, казалось бы, четкого определения порядка применения законов в Конституции, нашем высшем нормативном правовом акте Российской Федерации, уже в Гражданском кодексе [3] сделана оговорка, что если в самом законе это оговорено, то, пожалуйста, применяйте закон «задним числом» на объекты, которые действовали до применения новых требований. Можно здесь добавить: и тем самым **нарушайте Конституцию РФ**. В ст. 4 [1] оговаривается следующее положение: если в регламенте устанавливаются более высокие требования, чем требования, действовавшие до вступления в силу Технического регламента, в отношении объектов, которые были введены в эксплуатацию до дня вступления в силу регламента, применяются ранее действовавшие требования. И что? А если требования не более высокие, чем те, которые действовали раньше? Значит, к «старым» объектам можно применять новый закон? При таком подходе, я уверен, большинство людей заблудится в лабиринтах всех этих законов, что и происходит сегодня. Если уж многие инспектора пожарного надзора далеко не всегда понимают порядок применения этих норм, то что уж говорить о представителях и руководителях объектов. Как правило, представители объектов в огромном

своем большинстве не будут искать, было ли это требование раньше, до применения этого закона. Они в основной своей массе просто молча согласятся с инспектором, который нашел нарушения и обосновал их новым законом. А если кто-то и решится возразить: как мы можем эти требования выполнить, ведь у нас объект старый, то получит ответ, что их надо выполнять, так как они были и раньше, до принятия Технического регламента [1]. И представители власти в лице Федерального государственного пожарного надзора не будут доказывать и тем более показывать, в каком документе эти требования записаны. Хотя они должны это делать, и на это тоже есть соответствующее требование (ст. 18 Федерального закона № 294 [5]): должностные лица пожарного надзора обязаны предоставлять представителю юридического лица информацию и документы, относящиеся к предмету проверки; обязаны также доказывать обоснованность своих действий при их обжаловании.

Как уже говорилось выше, требованиями ст. 4 Федерального закона [1] определено: если положениями настоящего Федерального закона установлены более высокие требования пожарной безопасности, чем требования, действовавшие до дня вступления в силу соответствующих положений настоящего Федерального закона, в отношении объектов защиты, которые были введены в эксплуатацию либо проектная документация на которые была направлена на экспертизу до дня вступления в силу соответствующих положений настоящего Федерального закона, применяются ранее действовавшие требования. А если требования Технического регламента не превышают требований ранее действовавших нормативных документов? Тогда, как было отмечено уже выше, для «старых» объектов надо применять новый закон, т. е. Технический регламент [1]? В общем, куда ни посмотри, получается какой-то каламбур.

Подведем итог. Один закон говорит о том, что должны выполняться только те требования, которые записаны в Техническом регламенте [1], а в самом Техническом регламенте написано, что должны выполняться и все другие требования, если они не противоречат данному закону (т. е. Техническому регламенту). Поэтому сейчас наши доблестные принципиальные инспектора, ссылаясь на ст. 151 [1], пишут все нарушения подряд, обосновывая их требованиями нормативных документов, и новых, и старых (в том числе отмененных): ППБ 01–03, ПБ 09–560–03, ФЗ № 123, НПБ 110–03, СНИП 31–03–2001 и др. (рис. 1 и 2).

В письме МЧС России от 2012 г. (рис. 3) четко определено, что требования всего этого огромного количества нормативных документов в области по-

ПРЕДПИСАНИЕ № _____

необходимо устранить следующие нарушения требований пожарной безопасности, выявленные в ходе проверки:

Вид нарушения	Содержание пункта...
Товарное производство	
Резервуарный парк гудронов	
Резервуарный парк гудронов тит. 995/2 не обеспечен сигнализаторами дозрывных концентраций	ППБ 01–03, п. 3; ПБ 09-560–03, п. 2.6.27
В резервуарном парке гудронов тит. 995/2,1 пожарные сухотрубы не выведены за пределы обвалования	ППБ 01–03, п. 3; СНиП 2.11-03–93, п. 8.6
В резервуарном парке гудронов тит. 995/1,2 на резервуарах допущена установка несертифицированных... пеносмесительных камер	Технический регламент [1], ст. 145, 146
Сырьевые товарные парки	
В помещении манифольдатит 946 отсутствует автоматическая установка пожарной сигнализации	НПБ 110–03, п. 4
Не обеспечено легкосбрасываемыми конструкциями помещение манифольдатит 946	СНиП 31-03–2001, п. 5.9

Рис. 1. Фрагмент предписания от ноября 2012 г. в результате проверки на нефтеперерабатывающем заводе г. Уфы [6]

жарной безопасности (ранее было определено, что их около 1,5–2 тыс.) [8], которые согласно ст. 151 закона [1] необходимо выполнять, не могут дублировать, занижать и, что особенно важно, завышать требования Технического регламента о требованиях пожарной безопасности. Поэтому, уважаемые представители пожарного надзора, не используйте нормативные документы, в которых есть требования, не установленные Техническим регламентом [1]. При этом можно смело ссылаться на письмо МЧС России. Предполагаем, что работникам пожарного надзора необходимо это учитывать в первую очередь при составлении предписаний на объектах защиты.

Смысл другого письма МЧС России от 2013 г. (рис. 4) не очень понятен. Как нам кажется, даже уважаемый г-н директор Департамента надзорной деятельности МЧС России не сможет до конца в нем разобраться. Цитирую: “Технические регламенты, принятые в соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ “О техническом ре-

ПРЕДПИСАНИЕ № _____

необходимо устранить следующие нарушения требований пожарной безопасности, выявленные в ходе проверки:

Вид нарушения	Содержание пункта...
Газокаталитическое производство	
Л-35-5	
В противопожарных преградах в помещении насосной, пересекаемых воздуховодом, не установлены противопожарные клапаны...	СНиП 41-01–2003, п. 7.11.1
Предел огнестойкости ригелей менее 1 часа...	ВУПП–88, п. 5.1
Помещение станции пожаротушения не оборудовано телефонной связью с помещением пожарного поста...	НПБ 88–2001*, п. 4.71*
В помещении венткамеры № 5 отсутствует автоматическая установка пожарной сигнализации...	НПБ 110–03, п. 4
24/300	
Источником водоснабжения стационарной установки водяного орошения К-101 является передвижная пожарная техника...	У-ТБ-07–89, п. 3.2
Объединенная операторная	
Двери РП, вентиляционной камеры выполнены непротивопожарными...	СНиП 21-01–97*, пп. 7.4, 5.14, табл. 2; СНиП 41-01–2003, пп. 13.6, 13.7

Рис. 2. Фрагмент предписания от 2013 г. в результате проверки на нефтеперерабатывающем заводе г. Уфы [7]

гулировании”, не действуют в части, содержащей требования к указанной продукции, отличные от требований, установленных указанным законом”. Во-первых, в этом документе, как часто бывает в нормативных документах МЧС России, вместо понятия “объект защиты” используется слово “продукция”. Во-вторых, интересно, что имеют в виду в МЧС России, когда говорят о требованиях к продукции, у которой есть “часть”, отличная от требований закона “О техническом регулировании” [2]? Нам, специалистам в области пожарной безопасности, с трудом это можно представить. Что уж говорить о представителях объектов, которые в основной своей массе не хотят об этом задумываться, потому что получается, что чем больше узнаешь, тем больше, к сожалению, возникает вопросов. Это письмо

Департаментом надзорной деятельности МЧС России обращение о разъяснении отдельных положений Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” и нормативных документов по пожарной безопасности рассмотрено.

В соответствии с частью 1 статьи 151 Технического регламента со дня вступления в силу названного закона до дня вступления в силу соответствующих технических регламентов требования к объектам защиты, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, в том числе строительными нормами и правилами, нормами пожарной безопасности, подлежат обязательному исполнению в части, не противоречащей требованиям Технического регламента.

Требования указанных нормативных документов не должны дублировать, занижать или завышать положения названного закона.

Технический регламент разработан в соответствии и в развитие Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ “О техническом регулировании”, и его положения лишь уточняют и конкретизируют отдельные требования.

Заместитель главного государственного инспектора Российской Федерации по пожарному надзору – заместитель директора Департамента надзорной деятельности
А. Н. Гилетич

Рис. 3. Текст письма МЧС России № 19-16-1092 от 19.11.2012 г. по применению ст. 151 закона [1]

также информирует о том, что ч. 1 ст. 151 закона [1] устанавливает “переходный период” от действовавших ранее нормативных правовых актов и нормативных правовых документов до вступления технических регламентов в силу. Так в чем же смысл ст. 151 [1], если ее положения не касаются норм, которые “дублируют, занижают или завышают” положения Технического регламента? Каких же норм тогда касается эта статья? Ответа нет.

Хотелось бы еще по вопросу применения нормативных документов при обосновании нарушений, выявляемых инспекторами пожарного надзора, отметить следующее. Если посмотреть на предписания инспекторов, то можно заметить, что выявляемые нарушения обосновываются (если можно так выразиться) “всем подряд”: и нормами, действовавшими в период проектирования объекта (например, ВУПП–88, НПБ 88–2001, У-ТБ-07–89), и нормами, запрещенными к применению уже в период под-

О рассмотрении обращения

По поручению Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий В. А. Пучкова Департамент надзорной деятельности МЧС России, рассмотрев Ваше обращение о разъяснении отдельных положений Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”, сообщает следующее.

Технические регламенты, принятые в соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ “О техническом регулировании”, не действуют в части, содержащей требования пожарной безопасности к указанной продукции, отличные от требований, установленных названным законом.

Положениями части 1 статьи 151 устанавливается переходный период для ранее действующих нормативных правовых актов Российской Федерации и нормативных документов федеральных органов исполнительной власти до момента вступления в силу соответствующих технических регламентов, что не противоречит Федеральному закону от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ.

Заместитель главного государственного инспектора Российской Федерации по пожарному надзору – заместитель директора Департамента надзорной деятельности
А. Н. Гилетич

Рис. 4. Текст письма МЧС России № 19-16-2053 от 15.11.2013 г. по применению ст. 151 закона [1]

готовки предписания (например, ППБ 01–03 (см. рис. 3 и 4)). И руководители объектов, не разбирающиеся в порядке применения и области действия таких норм, принимают их. Это и понятно. А вот почему наши уважаемые представители федеральной исполнительной власти — инспектора пожарного надзора, которые в этом разбираются, за этим не следят? И не только не следят, но и сами нарушают закон. Уважаемые господа инспектора, тут может быть только два ответа: или у Вас низкий профессиональный уровень, или Вами руководит, извините за выражение, “тупое” желание “побольше накопать”, дабы обезопасить себя в случае пожара и показать (может, “начальству”?), как много Вы можете находить нарушений. Неплохо было бы, если бы профессиональный уровень инспекторов, и в первую очередь их предписания, проверяли более опытные и незаинтересованные люди из независимых организаций (желательно не из МЧС), чтобы исключить

развитие событий: “рука руку моет”. Или чтобы в МЧС во время инспекторских проверок (работы нижестоящих подразделений МЧС вышестоящими) относились более принципиально к таким нарушениям и непрофессионализму инспекторов. Тогда инспектора, прежде чем фиксировать нарушение, несколько раз подумают, насколько оно правомерно и обоснованно. Кстати, это один из ярких примеров неэффективного государственного управления в одном из направлений, которое влечет за собой лишние расходы, причем не государства, конечно, а организаций, которые подвергаются проверкам. Однако от их доходности, т. е. от развития бизнеса, зависит уровень экономического развития страны, поэтому от таких, казалось бы незначительных, неправильных действий в сумме зависит наше экономическое благосостояние.

Есть в наших законах и такое понятие, как презумпция невиновности, в соответствии с которой не руководители объекта должны доказывать, что они виноваты, что их нарушения нельзя квалифицировать, как нарушения, а инспектор пожарного надзора. Это также закреплено в нормативных правовых актах Российской Федерации, а именно в ст. 18 Федерального закона № 294 [5] и в ст. 1.5 Федерального закона № 195 [11]. А если кто и решится подать в суд, то судебная практика показывает, что судьи в качестве экспертов приглашают тех же инспекторов, или их руководителей, или представителей пожарной лаборатории (экспертов). Эксперты, естественно, будут на стороне инспектора, так как они по одну сторону “баррикады” (из одной системы, из одного ведомства — МЧС России). Да и судья, как один из представителей государственной власти, не очень-то разбирающийся в пожарных нормах (не в обиду ему будет сказано), как правило, смотрит “в рот” инспектору пожарной охраны или приглашенному эксперту, тоже занимающему позицию инспектора, а не представителя объекта и его адвоката. Вот и все. Может быть, только в Москве, где время от времени принципиальность, здравый смысл и правда побеждают коррупционность (“рука руку моет”), особенно в тех случаях, когда к делу привлечено внимание общественности, объекты защиты в судах могут доказать свою правоту. А в регионах, республиках, областях и краях страны, где телевидение и общественность привлекаются не так активно, как в Москве, суды в основном выигрывают государственные структуры, а интересы бизнеса и объектов при этом учитываются очень редко.

Положение усугубляется еще и тем, что старые нормы далеко не всегда легко достать, особенно для объектов 40–60-х годов постройки. Я даже скажу Вам проще: на официальном сайте нашего доблестного федерального органа исполнительной власти,

который призван следить за соблюдением этих норм, — МЧС России был приведен ответ министерства на конкретный вопрос представителя одного из объектов, суть которого в следующем: для объектов 40–60-х годов постройки должны применяться нормы 80–90-х годов. Такая позиция удивляет хотя бы потому, что это тоже является прямым нарушением вышеназванных статей Конституции РФ [4] и Гражданского кодекса РФ [3]. Хотелось бы уточнить, почему в МЧС России этому вопросу не уделяется необходимого внимания. Ведь часто представители объектов, в том числе относящихся к малому и среднему бизнесу, в результате этой “неразберихи” в законах становятся жертвами нарушения их конституционных, да и не только конституционных, прав.

В интервью директора Департамента надзорной деятельности МЧС России Ю. И. Дешевых от 5 ноября 2013 г. [8] была приведена интересная статистика по знанию на объектах пожарных норм: почти на 60 % объектов нормы не знают вообще, на 20 % — о них узнают только после пожара. Здесь речь идет только о нормах. Что уж говорить об их правоприменении? Предположительно, последний показатель будет еще меньше (около 5 %). В связи с этим представляется важным, чтобы МЧС России уделяло больше внимания обучению, инструктажам на объектах (а не штрафам, которых представители объектов боятся и которые знаний им не прибавят), а также более жесткому контролю при обучении работников организаций мерам пожарной безопасности, организуемому на объектах в виде инструктажей и пожарно-технических минимумов [9].

В том же интервью [8] г-н В. И. Дешевых отметил, что у нас взят курс на снижение количества пожаров и числа погибших на них людей. Это, конечно, хорошо, если бы не было “но”... В том же интервью было отмечено, что по показателю гибели людей на пожарах мы от США “отстаем”. Можно было бы сказать и больше: мы сегодня находимся на 1-м месте в мире по числу погибших на пожарах людей в относительной пропорции к общей численности населения страны. И, соответственно, у нас самый высокий пожарный риск в мире. Более того, сегодня основная причина пожаров у нас в стране — нарушение требований пожарной безопасности, а не отсутствие на объектах дорогостоящих технических систем противопожарной защиты (таких, как пожаротушение, сигнализация) и несоблюдение других технических требований пожарной безопасности. Поэтому, наверное, сегодня более важно организовать обучение людей и тренировки по эвакуации. Вот абсолютно правильный курс, взятый МЧС России, как было отмечено в том же интервью [8].

Кроме того, в интервью было заявлено, что теперь у нас только один документ обязательного применения [8]. Однако, опираясь на практику жизни и опыт работы в области пожарной безопасности, мы знаем, что в предписаниях инспектора Государственного пожарного надзора ссылаются не на один “документ обязательного применения”, а на 5–6 (см. рис. 1 и 2). Не нам, конечно, учить такого высокопоставленного чиновника МЧС России или давать ему советы, но в данном случае, полагаем, надо было сделать оговорку, что этот подход может распространяться только на “новые” объекты (т. е. построенные после вступления в силу этого “документа обязательного применения”), которых у нас сегодня абсолютное меньшинство, и при условии расчета величины пожарного риска на объекте.

Данное замечание справедливо и для другого утверждения из обсуждаемого интервью, касающегося пожарного аудита на объекте. Было заявлено, что в случае проведения пожарного аудита инспектора Государственного пожарного надзора на объект не приходят. Но при условии, что объект уже не вошел в план плановых проверок, и касается это только плановых проверок. А у нас сегодня внеплановых проверок на объектах, наверное не ошибусь, больше, чем плановых. Вероятность проверки объекта после проведения пожарного аудита очень высока: это может быть внеплановая проверка по заявлению или рапорту инспектора, в случае ухудшения пожарной обстановки и т. п. Это может быть и плановая проверка, если объект еще до проведения пожарного аудита вошел в план плановых проверок. Юридические доводы для внеплановой проверки после проведения пожарного аудита очень даже нетрудно найти, было бы желание.

Вывод

Многочисленные формулировки, имеющие место в законе, могут по-разному трактоваться правоприменителями, что дает возможность использовать разночтения в коррупционных целях [11]. Во многом схожие “претензии” к Техническому регламенту [1] были высказаны авторами статей в научно-технических журналах Российской Федерации:

- канд. техн. наук, магистрантом Российской академии государственной службы при Президенте РФ А. В. Красавиным;
- начальником Управления пожарной безопасности Государственного автономного учреждения “Московская государственная экспертиза” Т. Г. Кожушко;
- д-ром техн. наук, профессором ФГУ “Главгосэкспертиза России” В. Б. Коробко;
- д-ром техн. наук, профессором ФГУ “Главгосэкспертиза России” Ю. М. Глуховенко и другими научными деятелями [11–13].

В качестве подведения итогов хотелось бы сформулировать абсолютно принципиальную позицию, которую представители и руководители объектов должны занимать в отношениях с инспекторами пожарного надзора, когда возникают вопросы о нарушениях в области пожарной безопасности. Такие ситуации возникают особенно часто теперь, в условиях ужесточения наказаний за нарушения в области пожарной безопасности, повышения сумм штрафов и существующей опасности временного запрета деятельности объекта со стороны Государственного пожарного надзора. У нас в России есть такая поговорка: прав тот, у кого больше прав, или ты начальник — я дурак, я начальник — ты дурак. Чтобы представителям объектов не оказаться в положении того самого дурака, их взаимоотношения с Государственным пожарным надзором должны строиться на следующих принципах.

1. Согласно ст. 18 Федерального закона № 294 [5], когда инспектор предъявляет Вам претензии по нарушениям в области пожарной безопасности, необходимо попросить его дать Вам полную информацию о каждом нарушении и предъявить текст положения нормативного документа, которое было нарушено. Стоит при этом вспомнить и о презумпции невиновности (ст. 1.5 Кодекса об административных правонарушениях [10], если эти нарушения фиксируются в протоколе об административном правонарушении): лицо, в отношении которого ведется производство по делу об административном правонарушении, считается невиновным, пока его вина не будет доказана. Есть соответствующая статья и в Уголовном кодексе. Вы имеете право спрашивать ровно столько, сколько потребуется для полного прояснения ситуации, до тех пор пока Вы не убедитесь в своей правоте или наоборот — в правоте инспектора. И не надо “отмалчиваться” и со всем соглашаться, как часто у нас делают некоторые неуверенные в себе представители объектов.

2. Из ст. 54 Конституции РФ [4] следует, что, если Ваш объект был построен до принятия Технического регламента [1], Вы должны уверенно заявить, **что в период строительства Вашего объекта таких требований не было**. Вообще сегодня требования по пожарной безопасности у нас разделены на требования режимного характера и технического характера. Так вот, это касается в первую очередь требований технического характера, потому что требования режимного характера не требуют особых временных и финансовых затрат, относятся к организационным требованиям и по здравому смыслу должны выполняться. Они все изложены в правилах противопожарного режима, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации № 390 от 25.04.2012 г. Это приказы, инструк-

тажи, различные правила по поведению людей и т. д. А технические требования охватывают пожарную сигнализацию, пожаротушение, оповещение, огнезащиту, объемно-планировочные решения и т. п. Так вот, если инспектор выявил у Вас на объекте нарушения технического характера и обосновал их нормами, которые не действовали в период строительства Вашего объекта, необходимо занять указанную выше позицию, т. е. заявить, что в период строительства Вашего объекта таких требований не было. И инспектор на основании ст. 18 Федерального закона № 294 [5] обязан или отказаться от своих претензий, или доказать их с предъявлением нормативных документов того времени, когда строился этот объект. Если инспектор этого не сделает, то он нарушит **ст. 54 Конституции РФ [4], ст. 4 Технического регламента [1], ст. 18 Федерального закона № 294 [5], ст. 1.5 Федерального закона № 195 [10]**. Вот видите, как много законов он нарушает в этом случае, и против такого количества нарушений, предполагаю, не устоит и судья, если дело дойдет до суда. Если объект или часть здания у Вас новая, а Вам предъявляют требования, обоснованные “старыми” нормативными документами, ссылаясь на ст. 151 [1],

обязывающую их выполнять, то воспользуйтесь письмом МЧС России (см. рис. 2). В этом письме определено, что к требованиям, не противоречащим требованиям технического регламента, относятся не дублирующие, не заниженные и не завышенные требования технического регламента, что очень важно.

Законов в нашей стране много, но они часто нарушаются или не работают вовсе. Я иногда вспоминаю, на мой взгляд, мудрые слова известного философа Вольтера: многочисленность законов в государстве есть то же, что большое число врачей, — признак болезни и бессилия. А другой известный философ Сенека сказал: некоторые неписанные законы тверже всех писаных.

Уважаемые представители объектов защиты, я Вам желаю устоять перед такой довольно-таки противоречивой системой норм и правил в области пожарной безопасности, а Вам, уважаемые инспектора пожарного надзора и профилактики пожаров, — высокого профессионализма и компетентности, желания больше знать и применять знания по справедливости и по-человечески.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ 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. О техническом регулировании : Федер. закон РФ 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.
3. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) : Федер. закон от 30.11.1994 г. № 51-ФЗ (ред. от 11.02.2013 г.) // Собр. законодательства РФ. — 05.12.1994. — № 32, ст. 3301.
4. Конституция Российской Федерации : принята 12.12.93 г. (с учетом поправок, внесенных законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 г. № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 г. № 7-ФКЗ) // Российская газета. — 25.12.93. — № 237; Собр. законодательства РФ. — 26.01.2009. — № 4, ст. 445.
5. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : Федер. закон от 26.12.2008 г. № 294-ФЗ; принят Гос. Думой 19.12.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 22.12.2008 г. // Российская газета. — 30.12.2008. — № 266; Собр. законодательства РФ. — 29.12.2008. — № 52 (ч. I), ст. 6249.
6. Предписание об устранении нарушений требований пожарной безопасности, о проведении мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах защиты и по предотвращению угрозы возникновения пожара от 15.11.2012 г. № 141/1/24 / ГУ МЧС России по РБ. — Уфа : ОАО “Уфанефтехим”, 2013. — 7 с.
7. Предписание об устранении нарушений требований пожарной безопасности, о проведении мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах защиты и по предотвращению угрозы возникновения пожара от 29.04.2013 г. № 23/1/10 / ГУ МЧС России по РБ. — Уфа : ОАО “УНПЗ”, 2013. — 6 с.
8. Совершенствование законодательства в области пожарной безопасности: основные направления законотворческой деятельности. Разъяснения директора департамента надзорной деятельности МЧС России Дешевых Ю. И. в интернет-интервью компании “Гарант” 05.11.2013 г. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 27.02.2014 г.).

9. Об утверждении Норм пожарной безопасности “Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций” : приказ МЧС РФ от 12 декабря 2007 г. № 645. URL : <http://base.garant.ru/192618/> (дата обращения: 27.02.2014 г.).
10. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях : Федер. закон от 30.12.2001 г. № 195-ФЗ; принят Гос. Думой 20.12.2001 г.; одобрен Сов. Федерации 26.12.2001 г. // Российская газета. — 31.12.2001. — № 256.; М. : ТК Велби, Изд-во “Проспект”, 2010. — 310 с.
11. Красавин А. В. Антикоррупционная экспертиза Федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 9. — С. 10–21.
12. Коробко В. Б., Глуховенко Ю. М. “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”: первый опыт применения при проектировании и экспертизе проектной документации // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 4. — С. 4–12.
13. Кожушко Т. Г. Предложения по совершенствованию “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 9. — С. 31–34.

Материал поступил в редакцию 3 марта 2014 г.

English

LEGITIMACY OF THE TECHNICAL REGULATIONS ON FIRE SAFETY REQUIREMENTS AND OTHER NORMATIVE DOCUMENTS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY

BAKIROV I. K., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation; e-mail address: bakirovirek@bk.ru)

KHANOVA A. M., Undergraduate of Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

ABSTRACT

The relevance of a specific theme considering the effect of new normative legal acts and normative documents in the field of fire safety is becoming apparent. There are dismantled articles of the Federal law No. 123 Technical regulations on fire safety requirements and comparison with other applicable regulatory legal acts on enforcement on the objects of protection. There are installed significant contradictions between separate articles of the Technical regulations on fire safety requirements, Civil Code of the Russian Federation and the Constitution of the Russian Federation. Brief analysis of the interview of the Director of the Department for Supervision Activity of the Russian Federation of Emercom of Russia Yu. I. Deshevych of 5 November 2013 was made. Recommendations for the representatives of the objects of protection in situations when the inspector of the fire control wrongfully requires the fulfillment of certain requirements of normative legal acts and normative documents in the field of fire safety were elaborated.

The following issues were raised:

- obscurity and senselessness of article 151 of the Technical regulations on fire safety requirements, as if the requirements of other standards duplicate, understate or overstate the provisions of the Technical regulations on fire safety requirements, then this article is for these standards do not apply;
- the ambiguity of some articles of our Federal laws: one law says that the requirements should be only written in the Technical regulations on fire safety requirements, and the Technical regulations says that you should fulfill all other requirements, if they do not contradict him (Technical regulations);
- again, the ambiguity some articles Federal laws: the Constitution of the Russian Federation no one can be held responsible for an act which at the time of its Commission was not recognized offence,

but under article 151 of the Technical regulations on fire safety requirements such an act can be set as a violation.

Keywords: technical regulations; standards for fire safety; fire safety; rights of legal persons; right fire control.

REFERENCES

1. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. On technical regulation. Federal Law on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2002, no. 245 (in Russian).
3. The Civil code of the Russian Federation (part one). Federal Law on 30.11.1994 No. 51 (as amended on 11.02.2013). *Collection of Laws of the Russian Federation*, 05.12.1994, no. 32, art. 3301 (in Russian).
4. The Constitution of the Russian Federation (adopted at the referendum 12.12.1993) (with amendments introduced by Laws of the Russian Federation on amendments to the Constitution of the Russian Federation on 30.12.2008 No. 6-FKZ, dated 30.12.2008 No. 7-FKZ). *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 25.12.93, no. 237; *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 26.01.2009, no. 4, art. 445 (in Russian).
5. On protection of rights of legal entities and individual entrepreneurs when exercising state control (supervision) and municipal control. Federal law on 26.12.2008 No. 294. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 29.12.2008, no. 52 (part I), art. 6249 (in Russian).
6. Instruction about elimination of infringements of requirements of fire safety, conducting of measures to ensure fire safety on the objects of protection and prevention of imminent danger of fire on 15.11.2012 No. 141/1/24. Emercom of Russia in the Republic of Belarus — Ufa : Corporation “Ufaneftekhim” Publ., 2013. 7 p. (in Russian).
7. Instruction about elimination of infringements of requirements of fire safety, conducting of measures to ensure fire safety on the objects of protection and prevention of imminent danger of fire on 29.04.2013, No. 23/1/10. Emercom of Russia in the Republic of Belarus. — Ufa : Corporation “UNPZ” Publ., 2013. 6 p. (in Russian).
8. Improving legislation in the field of fire safety: the main directions of legislative activity. Clarification Director of the Department of oversight of the Emercom of Russia Yu. I. Deshevikh in internet-interview of the company “Garant” 05.11.2013. Available at: <http://www.mchs.gov.ru> (Accessed 27 February 2014) (in Russian).
9. On approval Standards for fire safety “Fire safety training for employees of organizations”. Emergencies Ministry Order on 12 December 2007 No. 645. Available at: <http://base.garant.ru/192618/> (Accessed 27 February 2014) (in Russian).
10. Code of the Russian Federation about administrative offences. Federal law on 30.12.2001 No. 195. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 31.12.2001, no. 256. Moscow, TC Valby, Prospect Publ., 2010. 310 p. (in Russian).
11. Krasavin A. V. Antikorrupcionnaya ekspertiza Federalnogo zakona “Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharной bezopasnosti” [Anticorruption examination of Federal law “Technical enactment about fire safety requirements”]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 9, pp. 10–21.
12. Korobko V. B., Glukhovenko Yu. M. “Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharной bezopasnosti”: pervyy opyt primeneniya pri proektirovani i ekspertize proektnoy dokumentatsii [“Technical regulations about fire safety requirements”: first practice in projection and appraisal of project documentation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 4, pp. 4–12.
13. Kozhushko T. G. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu “Tekhnicheskogo reglamenta o trebovaniyakh pozharной bezopasnosti” [Suggestions for improvement of “Technical enactment about fire safety requirements”]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 9, pp. 31–34.

Н. Л. ПОЛЕТАЕВ, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны" МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: nlpvniipo@mail.ru)

УДК 536.468

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ВЗРЫВООПАСНОЙ МОНОДИСПЕРСНОЙ АЭРОВЗВЕСИ

Рассматривалась проблема первичной (не требующей проведения огневых испытаний) оценки той степени измельчения твердого горючего материала, начиная с которой образующийся дисперсный материал становится взрывоопасным в состоянии аэровзвеси. Ввиду сложности и неочевидности существования общего решения данной проблемы исследован частный случай аэровзвесей, состоящих из частиц, форму которых можно аппроксимировать шаром. Введено понятие максимального размера частиц d_{cr} полидисперсной (т. е. состоящей из частиц разного размера) аэровзвеси, способствующего проявлению ее взрывоопасности. В качестве первого практического шага на пути решения рассматриваемой проблемы построена математическая модель для оценки максимального размера d_{cr}^* частиц взрывоопасной взвеси монодисперсного (т. е. состоящего из частиц приблизительно одного размера) горючего материала в воздухе. Исходными данными для этой модели служили экспериментальные значения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) по аэровзвесям нескольких полидисперсных образцов горючего материала с известным распределением частиц по размерам. Показано, что основным предположением моделирования являлась правомерность применения правила Ле-Шателье к расчету нижнего концентрационного предела распространения пламени полидисперсного материала, рассматриваемого в виде смеси монодисперсных фракций. Определены значения d_{cr}^* для кокса из бурого угля, поливинилхлорида, алюминия и полиэтилена, которые составили соответственно 30, 38, 46 и 118 мкм. Обсуждалось соотношение d_{cr} и d_{cr}^* . Приведен пример практического использования результатов работы в области категорирования помещений пылеобразующих производств по взрывопожарной опасности.

Ключевые слова: взрывоопасная аэровзвесь; влияние размера частицы; расчетно-экспериментальная оценка.

Введение

Известно [1], что, начиная с некоторой степени измельчения, твердый горючий материал становится взрывоопасным в состоянии аэровзвеси и приобретает название "взрывоопасная пыль". В связи с этим для первичной (не требующей огневых испытаний) оценки опасности производств, на которых обрабатываются твердые дисперсные горючие материалы (ТДГМ), представляет интерес ответ на вопрос: при каком измельчении твердого горючего материала образуется взрывоопасная пыль? Несмотря на значительный объем экспериментальных данных о взрывоопасности аэровзвесей ТДГМ [2], научно обоснованный ответ на этот вопрос до сих пор не получен.

В соответствии с системой оценки опасности веществ и материалов, принятой в России [3], к взрывоопасной пыли относится та часть ТДГМ, которая проходит сквозь сито с квадратными ячейками размером 850×850 мкм. Предлагаемый ответ на по-

ставленный выше вопрос вносит в научные представления о горении ТДГМ понятие максимального (критического) габаритного размера частиц d_{cr} , который может способствовать проявлению взрывоопасности у аэровзвеси ТДГМ. Согласно [3] данный параметр характеризуется единым для всех веществ значением:

$$d_{cr} = 850 \text{ мкм.} \quad (1)$$

Назовем его правилом (1). Многолетнее использование данного правила без пересмотра его содержания не может оправдать два его очевидных недостатка.

Во-первых, изложенный подход к оценке взрывоопасности ТДГМ игнорирует форму частиц. Известна, например, взрывоопасность тополиного пуха [4], частицы которого (пушинки) не подчиняются правилу (1), поскольку имеют значительный габаритный размер (около 10 мм). Взрывоопасность пуха объясняется малым диаметром волокон (около 15 мкм),

формирующих отдельную пушинку. Признавая целесообразность оценки взрывоопасности ТДГМ, основанную на существовании d_{cr} , разумно ограничить область применения данной оценки сплошными материалами, форма частиц которых близка к шару и, следовательно, характеризуется единственным (габаритным) размером. Именно таким ТДГМ будет посвящена настоящая работа.

Во-вторых, очевидна зависимость d_{cr} от химического состава горючего. В частности, экспериментально обнаружено, что при влагосодержании органического горючего, превышающем определенное значение (около 40 % масс. [2]), ТДГМ становится взрывобезопасным при любом размере его частиц. Справедливости ради следует отметить, что с выходом стандарта [5] и свода правил [6] декларируется зависимость d_{cr} от химического состава ТДГМ. Однако значения d_{cr} для различных ТДГМ неизвестны, и правило (1) по-прежнему выступает в качестве оценки данного параметра.

Предпринимавшиеся в зарубежных нормах попытки корректно ответить на поставленный выше вопрос приводят к противоречиям, которые несложно продемонстрировать на примере стандартов, выпущенных в США. В этой стране до недавнего времени использовался подход к оценке взрывоопасности ТДГМ, отличающийся от изложенного выше только меньшим единым для всех веществ значением d_{cr} :

$$d_{cr} = 420 \text{ мкм.} \quad (2)$$

Разработчики очередной (2006 г.) редакции стандарта NFPA 654 [7] приняли во внимание существенное влияние на величину d_{cr} формы частиц и из определения взрывоопасной аэровзвеси исключили упоминание о размере образующих ее частиц. Возникла формальная необходимость проведения весьма дорогостоящих исследований взрывоопасности аэровзвесей любых ТДГМ, в том числе грубодисперсных материалов, взрывобезопасность которых не вызывала сомнения. Этому воспротивились авторы отраслевых стандартов NFPA [8–10]: в одних из них было сохранено действие правила (2), в других — была проведена замена в этом правиле параметра d_{cr} на параметр, который был назван максимальным значением среднего габаритного размера частиц взрывоопасной аэровзвеси.

Таким образом, вопрос о величине параметра d_{cr} целесообразно отнести к достаточно сложным и использовать поэтапное приближение к ответу на него. Настоящая работа относится к начальному этапу такого процесса и касается оценки d_{cr} для монодисперсной взвеси, частицы которой имеют одинаковый размер. Максимальный размер частиц взрывоопасной монодисперсной аэровзвеси обозначим

d_{cr}^* , чтобы отличать его от введенного ранее параметра d_{cr} .

В подтверждение правомерности постановки задачи в настоящей работе приведем правдоподобное объяснение существования параметра d_{cr}^* . Действительно, для монодисперсной аэровзвеси упомянутая в начале статьи “степень измельчения” характеризуется единственным, общим для всех частиц размером d_s . Уменьшая d_s вплоть до молекулярных размеров, можно перейти от взрывобезопасной (грубодисперсной) аэровзвеси к аэровзвеси, представляющей фактически смесь горючего газа с воздухом, взрывоопасность которой не вызывает сомнения. В этом процессе обнаружим границу ($d_s = d_{cr}^*$), разделяющую взрывобезопасные ($d_s > d_{cr}^*$) и взрывоопасные ($d_s < d_{cr}^*$) монодисперсные аэровзвеси.

Последнее объяснение названо правдоподобным из-за наличия у него слабого звена, представляющего собой утверждение о существовании невзрывоопасной грубодисперсной аэровзвеси. Расчеты [11] показывают, что в случае ведущей роли радиационного механизма передачи тепла от продуктов горения в свежую смесь рост размера частиц монодисперсной неподвижной аэровзвеси (что достигается, например, креплением частиц горючего на тонких держателях) не сопровождается уменьшением скорости распространения пламени. Поскольку большинство исследователей отводит радиационному механизму теплопередачи в реальных нестационарных условиях существования аэровзвеси второстепенную роль (см., например, обзор [1]), будем в настоящей работе постулировать существование d_{cr}^* .

Формально экспериментальное определение d_{cr}^* для конкретного ТДГМ можно свести к следующим действиям. Из ТДГМ выделяют узкие фракции частиц с монотонно возрастающим средним размером и испытывают их на способность распространять пламя в состоянии аэровзвеси до тех пор, пока не появится фракция частиц (со средним размером около d_{cr}^*), аэровзвеси которых будут отнесены к взрывобезопасным. Поскольку серьезные исследования горючести крупнодисперсных аэровзвесей необходимо проводить во взрывных камерах большого объема (не менее 1 м³), выделение многочисленных узких фракций ТДГМ в значительных количествах (каждой фракции по 5 кг и более) и последующее испытание их будут весьма дорогостоящей процедурой. Возможно, по этой причине автору не удалось обнаружить опубликованные результаты подобных исследований. В связи с этим представляется целесообразной предпринятая в настоящей работе попытка оценить параметр d_{cr}^* на основе математической обработки известных результатов экспериментального определения взрывоопасности поли-

дисперсных образцов ТДГМ с широким распределением частиц по размерам.

Итак, данная работа посвящена расчетно-экспериментальной оценке d_{cr}^* для ряда ТДГМ. Окислительной средой считается воздух нормального состава. Основу исследований составляет метод оценки d_{cr}^* из работы [12], в которой получено значение искомого параметра только для полиэтилена ($d_{cr}^* \approx 100$ мкм). В настоящей работе проведено уточнение упомянутого метода и величины параметра d_{cr}^* для полиэтилена, а также рассчитаны значения d_{cr}^* для алюминия, поливинилхлорида (ПВХ) и кокса, полученного из бурого угля.

Эмпирические основы метода оценки d_{cr}^*

Отсутствие теории распространения турбулентного пламени по аэровзвеси исключает построение строгого обоснования тех математических приемов исследования, которые будут нами использованы в дальнейшем. Аргументы в пользу предлагаемых математических соотношений будут носить эмпирический характер и основываться на опубликованных данных экспериментального исследования горения пылевоздушных смесей.

Качественное обоснование существования d_{cr}^* находит подтверждение в результатах экспериментальных исследований зависимости нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) в полидисперсной аэровзвеси от среднего размера ее частиц d_m [1]. Под d_m понимается размер частиц, который делит полидисперсный материал на две равные по массе фракции — частицы размером менее d_m и частицы размером более d_m . Для конкретного ТДГМ с ростом d_m величина НКПР сначала не меняется, а затем растет вплоть до перехода аэровзвеси в состояние негорючей. Значение НКПР для мелкодисперсных образцов ТДГМ, зависящее только от химического состава материала и особенностей методики проведения экспериментального исследования, будем обозначать через НКПР₀. В дальнейшем представляется удобным вместо НКПР использовать нормированное обратное значение данного параметра: $Z = \text{НКПР}_0 / \text{НКПР}$.

На рис. 1,а приводятся зависимости $Z(d_m)$, построенные по результатам двух различных экспериментальных исследований горения аэровзвесей полидисперсных образцов полиэтилена. Нумерованные точки относятся к представительным результатам работы [2], в которой исследования образцов, имеющих широкое распределение частиц по размерам, проводились в квазисферической взрывной камере объемом 1 м³ по методике, близкой к стандарту [13]. Для каждой из таких точек на рис. 1,б под тем же номером приводится плотность распре-

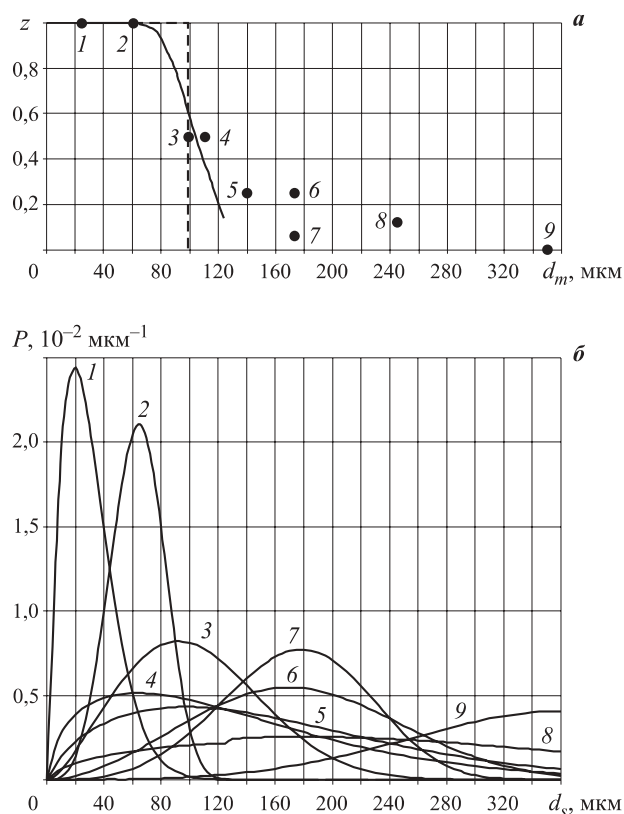


Рис. 1. Экспериментальные зависимости $Z(d_m)$ для полидисперсных образцов полиэтилена по данным [2] (●) и [14] (—) (а) и плотность распределения частиц образцов [2] по размерам (б)

деления частиц образца по размерам $P(d_s)$, которая определяется производной:

$$P(d_s) = dF(d_s) / d(d_s),$$

где $F(d_s)$ — зависимость массовой доли частиц полидисперсного образца, имеющих размер менее d_s , от величины d_s .

Площадь под кривыми $P(d_s)$ постоянна и равна 1. Из графика следует, что полидисперсные образцы полиэтилена сохраняют взрывоопасность в состоянии аэровзвеси со средним размером частиц d_m до 350 мкм.

Сплошная линия на рис. 1,а относится к результатам исследований [14] в квазисферической взрывной камере объемом 20 л по методике Горного Бюро США [15] образцов полиэтилена с узким распределением частиц по размерам. Справедливости ради отметим, что существенные отличия методик исследования НКПР образцов полиэтилена в работах [2] и [14] касаются не только объема взрывных камер. Отличается также запас энергии пиротехнического источника зажигания (соответственно 10 и 2,5 кДж) и начальный уровень турбулентности пылевоздушной смеси (заметно выше в камере объемом 1 м³, чем в 20-л камере). Последнее, в частности, повлияло

на экспериментальное значение НКПР₀ для полиэтилена (соответственно 21 г/м³ [2] и 46 г/м³ [14]).

Тем не менее сопоставление зависимостей $Z(d_m)$, представленных на рис. 1,а, позволяет считать разумным следующее предположение. С уменьшением ширины распределения размеров частиц образцов полиэтилена зависимость $Z(d_m)$ приближается к зависимости $Z(d_s)$, которую с приемлемой погрешностью можно аппроксимировать одиночной ступенькой (пунктирная линия на рис. 1,а):

$$Z(d_s) = \begin{cases} 1, & \text{если } d_s \leq d_{cr}^*; \\ 0, & \text{если } d_s > d_{cr}^*. \end{cases} \quad (3)$$

Второе предположение, которое потребуется для построения метода оценки d_{cr}^* , состоит в распространении правила Ле-Шателье на полидисперсные ТДГМ, рассматриваемые в виде смеси монодисперсных фракций. Данное правило эффективно применяется для оценки НКПР гомогенной смеси многокомпонентного горючего с воздухом [16]:

$$\text{НКПР}_\Sigma = \left[\sum_{i=1}^n (\sigma_i / \text{НКПР}_i) \right]^{-1}, \quad (4)$$

где НКПР_Σ — экспериментальное значение НКПР смеси многокомпонентного горючего с воздухом, % (об.);

n — число компонентов;

σ_i — объемная доля i -го компонента в составе многокомпонентного горючего;

НКПР _{i} — экспериментальное значение НКПР смеси i -го компонента горючего с воздухом, % (об.).

Суммирование в (4) производится по всем n компонентам горючего. Правило Ле-Шателье для смеси многокомпонентного дисперсного горючего с воздухом записывается в том же виде (4), где из-за традиционной размерности НКПР взрывеси (кг/м³) под параметром σ_i понимается массовая доля i -го компонента в составе многокомпонентного горючего. Правило Ле-Шателье (4) для полидисперсной взрывеси с непрерывным распределением частиц по размерам можно записать в виде

$$\text{НКПР} = \text{НКПР}_0 \left[\int_0^\infty Z(d_s) \cdot dF(d_s) \right]^{-1}, \quad (5)$$

где $Z(d_s) = \text{НКПР}_0 / \text{НКПР}(d_s)$;

НКПР(d_s) — НКПР для монодисперсной взрывеси из частиц размером d_s .

В пользу правомерности второго предположения свидетельствуют немногочисленные сведения об экспериментальных исследованиях, подтверждающих выполнение правила Ле-Шателье для двухкомпонентных ТДГМ [14].

Описание метода определения d_{cr}^*

Метод расчетно-экспериментального определения d_{cr}^* для конкретного дисперсного материала на основе функции Z вида (3) состоит в следующем.

Экспериментально определяют НКПР для нескольких (N) образцов материала с известными и существенно различающимися распределениями частиц по размерам. Представляя $Z(d_s)$ выражением (3), заменяют в последнем d_{cr}^* на переменную d'_{cr} , которую впоследствии будут варьировать в диапазоне, содержащем искомое значение d_{cr}^* . Поскольку НКПР₀ в (5) в общем случае может потребовать уточнения, данную величину также заменяют переменной НКПР'₀, которую впоследствии будут варьировать в диапазоне, содержащем ожидаемое значение НКПР₀. Для каждой фиксированной пары значений d'_{cr} и НКПР'₀ с помощью соотношения (5) вычисляют расчетные значения НКПР рассматриваемых образцов и определяют δ по формуле

$$\delta = \sum_{i=1}^N R_i / N, \quad (6)$$

где $R_i = \max(r_i, r_i^{-1}) \geq 1$;

$r_i = \text{НКПР}_{\text{экс},i} / \text{НКПР}_{\text{рас},i}$;

НКПР_{экс, i} , НКПР_{рас, i} — соответственно экспериментальное и расчетное значения НКПР для i -го образца дисперсного материала.

Величина δ выражает среднее значение кратности отличия экспериментальных и расчетных значений НКПР (отношения большего числа к меньшему). Чем ближе δ к 1, тем выше точность описания экспериментальных результатов расчетными значениями и выше достоверность описания реальной функции $Z(d_s)$ модельной функцией (3). Вычисляя δ для различных d'_{cr} и НКПР'₀, получают зависимость $\delta(d'_{cr}, \text{НКПР}'_0)$. Значения d_{cr}^* и НКПР₀ совпадают с теми величинами d'_{cr} и НКПР'₀, при которых величина δ минимальна.

Изложенный здесь метод определения d_{cr}^* отличается от предложенного ранее [5] оценкой расхождения расчетных и экспериментальных данных. В [5] подобная оценка выражалась среднеквадратическим отклонением r_i от 1, что приводило к неравноправному влиянию НКПР_{экс, i} и НКПР_{рас, i} на результаты оценки. Оценка (6), использованная в настоящей работе, исключает указанный недостаток, представляется физически более наглядной и позволяет надеяться на получение более точного значения d_{cr}^* .

Характеристика исходных экспериментальных данных

Необходимые для применения предложенного здесь метода определения d_{cr}^* сведения о результа-

тах экспериментальной оценки НКПР и дисперсном составе образцов заимствованы в основном из [2] и приводятся в табл. 1.

Исследования в [2] проводились в квазисферической взрывной камере объемом 1 м^3 по методике стандарта [13]. Исследуемая пыль из ресивера объемом 5 л, находящегося под избыточным давлением воздуха 2 МПа, подавалась во взрывную камеру через отверстия диаметром от 4 до 6 мм в перфори-

рованной трубке диаметром 20 мм. Трубка полукругом изгибалась вблизи внутренней поверхности камеры, ось трубки располагалась в вертикальной плоскости симметрии камеры. Под концентрацией горючего в аэровзвеси понимали отношение массы распыленной в камере пыли к объему камеры. Время задержки между началом вдувания пыли и зажиганием аэровзвеси составляло 0,6 с. Для зажигания аэровзвеси использовали пиротехнический заряд с

Таблица 1. Характеристика образцов пылей, отобранных для оценки d_{cr}^*

Номер образца	Значение F для ряда d_s , мкм					d_m , мкм	НКПР, г/м ³	G_1	G_2	G_3	G_4
	500	125	71	32	20						
Полиэтилен											
1	—	—	—	0,94	0,80	10 ¹	21	—	—	—	1,19
2	—	—	—	0,70	0,37	24	21	—	—	—	2,04
3	—	—	—	0,65	0,39	25	21	—	—	—	1,52
4	—	—	0,70	0,06	—	61	21	—	—	3,75	—
5	—	—	0,56	0,16	—	65	42	—	—	1,95	—
6	—	0,70	0,28	—	—	98	42	—	2,32	—	—
7	—	0,50	0,21	—	—	125	42	—	1,91	—	—
8	—	0,36	0,10	—	—	149	177	—	2,55	—	—
9	—	0,25	0,06	—	—	173	87	—	2,72	—	—
10	—	0,18	0,02	—	—	173	354	—	3,84	—	—
11	—	0,25	0,09	—	—	195 ¹	87	—	1,97	—	—
12	0,90	0,20	0,09	—	—	245	177	1,68	1,52	—	—
13	0,90	0,19	0,11	—	—	249 ¹	87	1,73	1,05	—	—
Кокс, полученный из бурого угля											
1	—	—	97	77	58	16	42	—	—	1,09	1,12
2	—	—	—	73	43	23	87	—	—	1,80	—
3	—	70	48	28	23	75	177	—	1,08	0,86	0,49
4	—	63	44	30	—	86	177	—	0,95	0,61	—
5	93	18	13	—	—	244	354	1,87	0,63	—	—
ПВХ											
1	—	—	—	99	94	5	42	—	—	—	1,05
2	—	—	—	96	85	5	87	—	—	—	1,12
3 ²	—	—	74	55	44	26	87	—	—	0,66	0,68
4 ²	—	—	60	31	14	61	177	—	—	1,13	1,92
5	—	69	40	—	—	87	354	—	1,47	—	—
Алюминий											
1	—	—	93	60	33	27	42	—	—	1,34	1,76
2	—	—	94	60	17	29	42	—	—	1,41	3,39
3	—	—	95	50	—	32	42	—	—	1,84	—
4	—	—	65	47	37	37	87	—	—	0,63	0,68
5	—	—	67	29	16	52	177	—	—	1,47	1,44
6	—	99	50	—	—	71	354	—	3,35	—	—

¹ Уточненные данные.

² Сведения об образце заимствованы из [1].

запасом энергии 10 кДж, расположенный в геометрическом центре камеры. НКПР определяли путем проведения серии основных опытов, в первом из которых концентрация горючего в аэровзвеси составляла 500 г/м³, а затем от опыта к опыту уменьшалась приблизительно в два раза (250, 125, 60, 30, 15 г/м³) до появления негорючей аэровзвеси. К негорючей относили аэровзесь, избыточное давление продуктов горения которой не превышало 50 кПа. Во избежание ошибки отсутствие взрывоопасности такой аэровзвеси проверяли в двух дополнительных опытах с аналогичной концентрацией горючего. Экспериментальное значение НКПР принималось равным среднему геометрическому двух исследованных концентраций горючего, относящихся соответственно к негорючей аэровзвеси и ближайшей к ней (по концентрации горючего) горючей аэровзвеси.

Дисперсный состав каждого из исследованных образцов, определенный путем предварительного рассева образца на пяти ситах, представлен значениями функции распределения частиц по размерам $F(d_s)$ для нескольких последовательных аргументов из следующего ряда: 20, 32, 71, 125 и 500 мкм. Поскольку для оценки d_{cr}^* предложенным здесь методом необходимо иметь непрерывную функцию распределения частиц исследованных образцов по размерам, моделирование непрерывной $F(d_s)$ проводилось следующим образом.

Функция $F(d_s)$ на отрезке оси d_s между соседними аргументами представляется распределением Розина–Раммлера [17]:

$$F(d_s) = 1 - [1 - F(d_{s1})]^B,$$

где $B = (d_s/d_{s1})^{G_k}$;

G_k — крутизна функции распределения;

$$G_k = \text{Ln} \frac{\text{Ln} [1 - F(d_{s2})] / \text{Ln} [1 - F(d_{s1})]}{\text{Ln} (d_{s2}/d_{s1})};$$

$F(d_{s1}), F(d_{s2})$ — известные значения функции распределения на концах рассматриваемого отрезка d_{s1} и d_{s2} ;

k — индекс, принимающий значения от 1 до 4, соответствующие порядковому номеру рассматриваемого отрезка оси d_s в следующем перечне отрезков: от 125 до 500 мкм, от 71 до 125 мкм, от 32 до 71 мкм, от 20 до 32 мкм.

На каждый из двух оставшихся участков оси d_s (области больших и малых размеров частиц) распространяется функция распределения, построенная на смежном с ним отрезке.

Следует отметить, что число образцов по каждому из дисперсных материалов, представленных в табл. 1, составляет не более 80 % от общего числа образцов, упоминавшихся в цитированных источниках [1, 2]. Уменьшение числа образцов или до-

полнение (корректировка) информации об образцах обусловлено контролем качества характеризующих образцы сведений. Не подвергая сомнению высокий уровень экспериментальных исследований, выскажем предположение о возможных ошибках при подготовке к публикации работ [1, 2], изобилующих количественными данными.

Результаты оценки d_{cr}^*

В табл. 2 приводятся расчетные значения d_{cr}^* и НКПР₀ для исследованных веществ, полученные на основе моделирования $Z(d_s)$ функцией вида (3). Графики на рис. 2 дают представление о характере расчетной зависимости $\delta(d_{cr}', \text{НКПР}'_0)$ при оптимальном значении НКПР₀' = НКПР₀.

Точность рассчитанных значений d_{cr}^* зависит от ряда факторов, анализ влияния которых либо невозможен по причине отсутствия необходимых исходных данных (например, анализ влияния частиц исследованных материалов, форма которых существенно отличается от сферы), либо выходит за рамки настоящей работы (например, детальный анализ влияния возможных нарушений правила Ле-Шателье для полидисперсной пыли).

Таблица 2. Результаты расчетов d_{cr}^* и НКПР₀

Вещество	НКПР ₀ , г/м ³	d_{cr}^* , мкм	Разброс d_{cr}^* , мкм	$d_{m, cr}$, мкм
Кокс	34	20	14–30	> 290
ПВХ	46	29	22–38	150
Алюминий	34	40	34–46	170
Полиэтилен	21	98	84–118	350

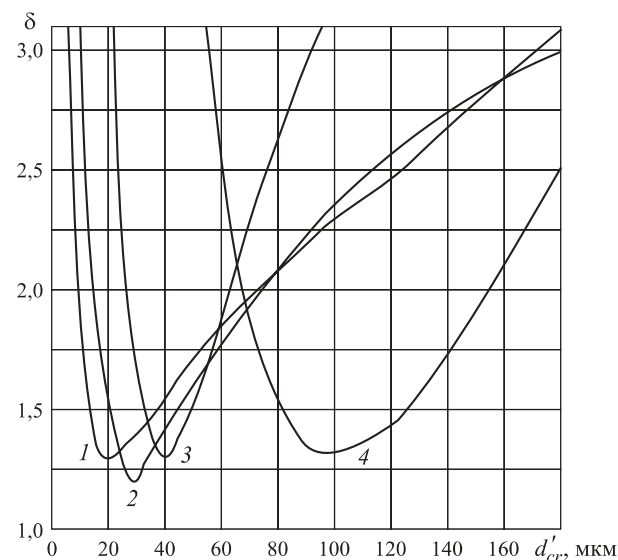


Рис. 2. Зависимость $\delta(d_{cr}', \text{НКПР}'_0)$ для пылей кокса (1), ПВХ (2), алюминия (3) и полиэтилена (4)

Приведем здесь оценку возможного разброса расчетных значений d_{cr}^* , связанного с конечной точностью использованных экспериментальных данных. Эта оценка будет основана на очевидном факте: расчетное значение d_{cr}^* конкретного ТДГМ зависит от набора экспериментальных значений НКПР, полученных для полидисперсных образцов данного материала. Поскольку изменения значений НКПР в пределах точности метода измерения этого параметра являются естественными, данным изменениям будет соответствовать определенный диапазон возможных значений d_{cr}^* .

Из-за значительного (двукратного) изменения концентрации горючего в серии опытов по определению НКПР разумно сделать следующее предположение. Возможный разброс любого из представленных в табл. 1 значений НКПР ограничен ближайшими к нему (сверху и снизу) значениями концентраций горючего в упомянутых опытах: 500, 250, 125, 60, 30 и 15 г/м³. Разброс значений d_{cr}^* , отвечающий упомянутому разбросу значений НКПР, приведен в табл. 2 (графа 4).

Дополнительно отметим, что попытка уточнения расчетных значений d_{cr}^* путем моделирования реальной зависимости $Z(d_s)$ многоступенчатой функцией, монотонно убывающей от 1 до 0, не привела к успеху. По мнению автора, это обусловлено низкой точностью метода экспериментального определения НКПР.

Обсуждение результатов

Несмотря на множество предположений, лежащих в основе создания и применения метода оценки d_{cr}^* , можно отметить согласие, по крайней мере, двух из полученных расчетных результатов (см. табл. 2) с имеющимися в литературе редкими экспериментальными данными.

Во-первых, наблюдается хорошее соответствие верхней границы диапазона возможных значений d_{cr}^* для полиэтилена (118 мкм), рассчитаного по результатам опытов с полидисперсными образцами, экспериментальному значению d_{cr}^* (около 125 мкм, см. рис. 1, а), полученному в опытах с образцами полиэтилена, близкими к монодисперсным.

Во-вторых, вывод о значении d_{cr}^* для алюминия (не более 46 мкм) близок к выводу автора [1], который на основе имеющихся у него результатов экспериментального опыта утверждает, что для алюминия d_{cr}^* не превышает 50 мкм. Встречающиеся в литературе иные утверждения [18] автор [1] объясняет полидисперсностью исследуемых образцов.

Приведенные факты позволяют прийти к выводу, что верхние границы диапазонов возможных значений d_{cr}^* , выделенных в табл. 2 жирным шрифтом, являются весьма точными оценками реальных зна-

чений этого параметра для всех исследованных в настоящей работе ТДГМ.

Остановимся на вопросе о практической ценности полученных результатов. В производственной деятельности встречаются, как правило, полидисперсные ТДГМ. Для первичной (не требующей огневых испытаний) оценки взрывоопасности таких веществ следует использовать параметр d_{cr} . Поскольку значение d_{cr} неизвестно, на практике его заменяют другой величиной — критическим значением среднего размера частиц $d_{m,cr}$ взрывоопасных полидисперсных образцов ТДГМ. Значения $d_{m,cr}$ определяются в серии последовательных испытаний полидисперсных образцов ТДГМ с монотонно возрастающим параметром d_m . Под $d_{m,cr}$ понимается то значение d_m , с превышением которого взрывзвеси ТДГМ становятся взрывобезопасными. Несмотря на очевидное непостоянство $d_{m,cr}$ (из-за влияния распределения частиц исследуемых образцов по размерам), опубликованные значения именно этого параметра повлияли на выбор единого для всех веществ значения d_{cr} в правилах (1) и (2). Для сравнения с расчетными значениями d_{cr}^* в табл. 2 приведены данные по $d_{m,cr}$ из [2].

Многократное различие рассчитанных здесь значений d_{cr}^* и d_{cr} в правилах (1) и (2) подталкивает к выводу о чрезмерном запасе надежности этих правил. Ввиду несомненной практической ценности такого вывода целесообразно обсудить соотношение параметров d_{cr}^* и d_{cr} . Одновременно конкретизируем упомянутую в определении d_{cr} (см. введение) возможность крупных частиц способствовать проявлению взрывоопасности у взрывзвеси полидисперсного ТДГМ. Существует два варианта такой конкретизации.

В рамках первого варианта предполагается, что взрывзвесь крупных частиц имеет конечное значение НКПР. Данный случай рассмотрен при оценке параметра d_{cr}^* и приводит к соотношению

$$d_{cr} = d_{cr}^*. \quad (7)$$

В рамках второго варианта конкретизации упомянутой способности крупных частиц предполагается невзрывоопасность взрывзвеси из крупных частиц (НКПР $\rightarrow \infty$), но при этом добавка крупных частиц к взрывзвеси, состоящей из более мелких частиц, может привести к увеличению какого-либо из параметров взрыва последней.

Поскольку на значение d_{cr} влияет выбор контролируемого параметра взрыва взрывзвеси, приведем перечень последних. По итогам одиночного опыта с взрывзвесью отмечают, как правило, три параметра взрыва [1, 2]. Первый качественный параметр характеризует горючесть взрывзвеси (произошел взрыв или нет). Второй параметр характеризует силу взры-

ва и выражается через максимальное избыточное давление продуктов горения P_m . Третий параметр характеризует скорость распространения турбулентного пламени по аэровзвеси V . Из-за специфики экспериментального исследования взрывоопасности пыли данный параметр выражается косвенным образом через максимальную скорость нарастания давления продуктов горения $(dP/dt)_m$, связанную с V по порядку величины соотношением

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_m \approx P_m \frac{V}{R},$$

где R — характерный размер взрывной камеры.

Неоднозначность этой связи и ее зависимость от другого параметра взрыва (P_m) побуждают в последующих рассуждениях использовать в качестве контролируемого параметра именно V , а не измеряемую в опыте величину $(dP/dt)_m$. В дальнейшем к обозначению величины d_{cr} , полученной в результате анализа влияния на ее значение контролируемого параметра взрыва аэровзвеси, будем добавлять индекс, указывающий на данный параметр (соответственно C , P или V).

Оценим величину $d_{cr,C}$, которую можно получить в результате контроля за возможным переходом негорючей полидисперсной аэровзвеси во взрывоопасную при добавлении крупных частиц. Для решения этой задачи представим следующий способ экспериментального определения $d_{cr,C}$. В качестве исследуемого вещества будем использовать ТДГМ, для монодисперсных фракций которого вблизи d_{cr}^* имеется (как, например, в случае полиэтилена [14]) широкий спектр значений НКПР. Будем исследовать взрывоопасность полидисперсной аэровзвеси данного ТДГМ, частицы которой для простоты представляют собой смесь из двух близких к монодисперсным фракций — мелкой с нижним концентрационным пределом распространения пламени, равным НКПР₀, и крупной, участие которой в горении аэровзвеси предстоит определить. Взрывоопасной аэровзвеси такого состава будут, очевидно, отвечать определенные наборы концентраций упомянутых компонентов в ее объеме (ρ_L и ρ_B соответственно), совокупность которых займет в прямоугольных координатах (ρ_L , ρ_B) некоторую область, называемую в дальнейшем “взрывоопасной”. Участие крупных частиц в горении полидисперсной аэровзвеси разумно анализировать вблизи НКПР. Это связано с тем, что рост концентрации горючего $\rho = \rho_L + \rho_B$ в аэровзвеси с заданным соотношением компонентов увеличивает долю кислорода, расходуемого на быстрое выгорание мелких частиц, вплоть до того, что весь кислород будет израсходован еще до воспламенения крупных частиц.

В рамках использованного в нашей работе предположения о справедливости правила Ле-Шателье (4) участок границы взрывоопасной области значений параметров (ρ_L , ρ_B) между координатными осями представляет собой отрезок прямой [16]. На рис. 3,а демонстрируется качественное влияние размера крупных частиц d_i (параметр монотонно растет с увеличением индекса i) на положение этого участка границы. Отсюда следует, что невзрывоопасную аэровзесь мелкой фракции (т. е. аэровзесь с концентрацией мелкой пыли $\rho_L < \text{НКПР}_0$) может сделать взрывоопасной добавка только такой крупнодисперсной пыли, которая имеет конечное значение НКПР, а значит, сама по себе относится к взрывоопасным. К таким добавкам, в частности, относятся частицы размером d_1 и d_2 . Добавка частиц размером d_3 и более, аэровзвеси которых невзрывоопасны ($\text{НКПР} \rightarrow \infty$), не может привести к уменьшению содержания мелкой фракции во взрывоопасной аэро-

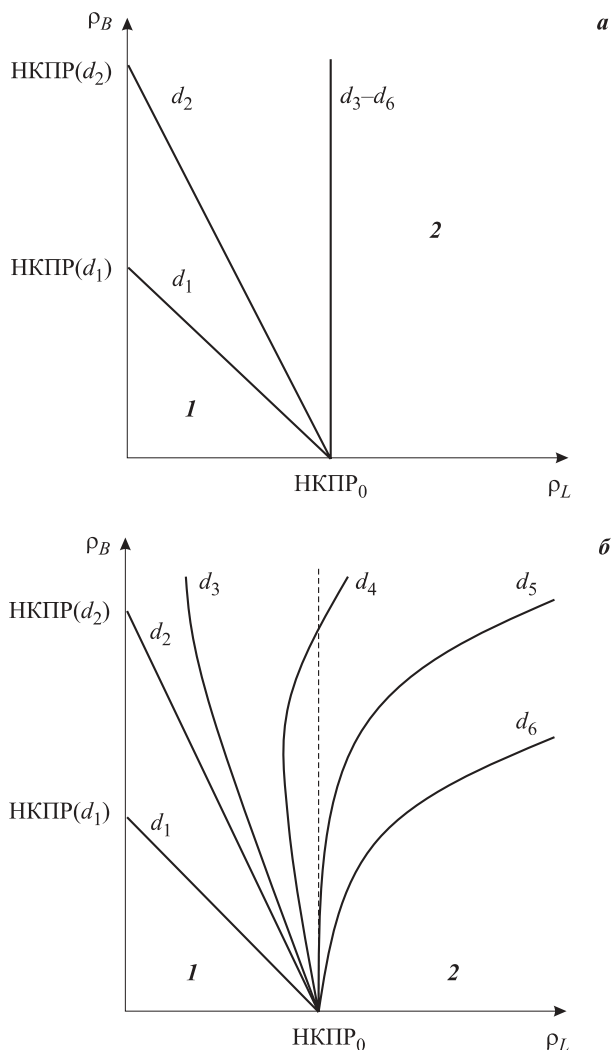


Рис. 3. Примеры расположения участка границы, разделяющей взрывобезопасную (1) и взрывоопасную (2) области при выполнении (а) и нарушении (б) правила Ле-Шателье: — — — — нормаль к оси ρ_L в точке $(\text{НКПР}_0, 0)$

взвеси ниже НКПР₀. Следовательно, для рассматриваемого варианта оценки d_{cr} имеет место соотношение:

$$d_{cr,C} = d_{cr}^* \quad (8)$$

Оценим величину $d_{cr,P}$, которую получим в результате контроля за увеличением параметра P_m полидисперсной аэровзвеси при добавлении крупных частиц. Очевидно, что справедливо соотношение $d_{cr,P} \geq d_{cr,C}$, поскольку возникновение горючести аэровзвеси с добавлением крупных частиц сопровождается также появлением конечных значений P_m . Для дальнейшего развития представлений о величине $d_{cr,P}$ построим модель полидисперсной аэровзвеси с максимально возможным участием в ее горении крупных частиц следующим образом. Рассмотрим распространение пламени по мелкодисперсной аэровзвеси с концентрацией горючего между величиной НКПР₀ и стехиометрическим значением ρ_{stech} . Газовая среда продуктов горения такой аэровзвеси будет иметь высокую температуру и содержать непрореагировавший кислород. Естественно ожидать, что помещенные в эту среду крупные частицы того же горючего, в том числе частицы, намного превосходящие по размеру $d_{cr,C}$, будут способны (сами частицы или, что будет подразумеваться и в дальнейшем, продукты их газификации в высокотемпературной среде) к химическому взаимодействию с остатками кислорода. Выгорание остатков кислорода приведет к повышению температуры продуктов горения и, следовательно, увеличению P_m . Разумно, таким образом, полагать, что для рассматриваемого варианта оценки d_{cr} с учетом (8) имеет место соотношение

$$d_{cr,P} \gg d_{cr}^* \quad (9)$$

Дополнительно отметим, что, наряду с химическим составом горючего, на предельный размер добавленных крупных частиц будут оказывать значительное влияние габариты взвеси, от которых (вследствие оседания частиц под действием гравитации) зависит время существования крупных частиц во взвешенном состоянии.

В развитие рассуждений о правомерности соотношений (8) и (9) уточним физический смысл параметра $d_{cr,C}$. Естественно предположить, что добавка крупных частиц размером d_s из диапазона $d_{cr,P} > d_s > d_{cr,C}$ оказывает флегматизирующее влияние на скорость распространения пламени по аэровзвеси, поскольку воспламенение таких частиц если и происходит, то в глубине зоны продуктов реакции мелкодисперсных фракций. Таким образом, величина $d_{cr,C}$ по своему порядку совпадает с размером частиц, который делит полидисперсный материал на две фракции, а именно фракцию мелких

частиц, присутствие которых в аэровзвеси может способствовать увеличению V , и фракцию крупных частиц, добавление которых к аэровзвеси уменьшает V .

С учетом высказанного предположения и соотношения (8) упрощается оценка $d_{cr,V}$, которую можно получить в результате контроля за увеличением параметра V полидисперсной аэровзвеси при добавлении крупных частиц:

$$d_{cr,V} \approx d_{cr}^* \quad (10)$$

Объединяя (7)–(10), косвенную связь параметров d_{cr}^* и d_{cr} в рамках предположений, на которых построена настоящая работа, можно сформулировать следующим образом. Необходимым условием распространения пламени по взвеси полидисперсного горючего материала в воздухе является наличие в этой взвеси частиц размером менее d_{cr}^* в количестве, превышающем НКПР₀.

Установлению более точной связи препятствует неопределенность соотношения (9). Тем не менее в ряде случаев можно получить ответы на практические вопросы, например, из области категорирования пылеобразующих производств по взрывопожарной опасности [6]. В частности, после аварийного распыления в объеме помещения и зажигания образовавшейся аэровзвеси горючего полидисперсного материала массой M максимально возможная масса сгоревшего материала m удовлетворяет соотношению

$$m \leq [MF(d_{cr}^*)](\rho_{stech} / \text{НКПР}_0), \quad (11)$$

где $F(d_{cr}^*)$ — массовая доля фракции мельче d_{cr}^* в полидисперсном материале.

Множитель в квадратных скобках правой части соотношения (11) характеризует максимально возможную массу мелких частиц, обеспечивающих распространение пламени по аэровзвеси, а множитель в круглых скобках — максимально возможное увеличение массы сгоревшей пыли за счет крупнодисперсного горючего, участвующего в дожигании кислорода, оставшегося после горения мелких частиц.

В заключение заметим, что рассуждение о правомерности соотношения (8) вскрывает конфликт между правилом Ле-Шателье и методом экспериментальной оценки НКПР по критическому уровню избыточного давления взрыва аэровзвеси (50 кПа). Действительно, согласно упомянутому рассуждению параметр $P_m(\rho_L, \rho_B)$ должен монотонно увеличиваться вдоль луча d_3 на рис. 3, а по мере удаления от точки (НКПР₀, 0). Однако это противоречит условию постоянства $P_m = 50$ кПа, поскольку точки данного луча отвечают НКПР аэровзвеси ТДГМ, состоящего из двух монодисперсных фракций частиц.

Таким образом, правило Ле-Шателье нарушается в случае присутствия в составе ТДГМ невзрывоопасной фракции частиц, для которой НКПР $\rightarrow \infty$. В связи с этим нарушением положение границ между взрывобезопасной и взрывоопасной областями на рис. 3,а требует уточнения. Качественное представление о таком уточнении дает рис. 3,б. При этом роль размера частиц d_3 , отвечающего величине $d_{cr,C}$ на рис. 3,а, перейдет к размеру d_5 на рис. 3,б (линия d_5 и ось ρ_L ортогональны в точке соприкосновения).

По мнению автора, влияние отмеченного нарушения правила Ле-Шателье на полученные в настоящей работе результаты невелико, однако тщательное исследование такого влияния выходит за рамки данной работы.

Заключение

Рассматривалась проблема первичной (не требующей проведения огневых испытаний) оценки той степени измельчения твердого горючего материала, начиная с которой образующийся дисперсный материал становится взрывоопасным в состоянии аэровзвеси. Ввиду неочевидности существования и сложности общего решения данной проблемы в работе исследовался частный случай аэровзвеси, состоящей из частиц, форму которых можно аппроксимировать шаром.

Введено понятие максимального размера d_{cr} частиц полидисперсной (т. е. состоящей из частиц разного размера) аэровзвеси, способствующего проявлению ее взрывоопасности.

В качестве первого практического шага на пути решения рассматриваемой проблемы построена математическая модель для оценки максимального размера d_{cr}^* частиц взрывоопасной взвеси монодисперсного (т. е. состоящего из частиц приблизительно одного размера) горючего материала в воздухе. Исходными данными для этой модели служили экспериментальные значения НКПР по аэровзвесям нескольких полидисперсных образцов горючего материала с известным распределением частиц по размерам. Основным предположением моделирования являлась правомерность применения правила Ле-Шателье к расчету НКПР полидисперсного материала, рассматриваемого в виде смеси монодисперсных фракций. Определены значения d_{cr}^* для кокса из бурого угля, поливинилхлорида, алюминия и полиэтилена, которые составили соответственно 30, 38, 46 и 118 мкм.

Обсуждалось соотношение d_{cr} и d_{cr}^* . Приведен пример практического использования результатов работы в области категорирования помещений пылеобразующих производств по взрывопожарной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eckhoff R. K. Dust explosions in the process industries. — 3rd edition. — Boston: Gulf Professional Publishing / Elsevier, 2003. — 720 p.
2. Brenn und Explosions — Kenngrößen von Staube / Scholl E. W., Reeh D., Wiemann W. u. a. // SFT-Report. — No. 2.2–79. — S. 100.
3. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методов их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Изд-во стандартов, 1998.
4. Полетаев Н. Л. О распространении пламени тополиным пухом // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 4–13.
5. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : Изд-во стандартов, 1998.
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
7. NFPA 654. Standard for the prevention of fire and dust explosions from the manufacturing, processing, and handling of combustible particulate solids. — Quincy : NFPA, 2006.
8. NFPA 61. Standard for the prevention of fires and dust explosions in agricultural and food processing facilities. — Quincy : NFPA, 2008.
9. NFPA 484. Standard for combustible metals. — Quincy : NFPA, 2013.
10. NFPA 664. Standard for the prevention of fires and explosions in wood processing and woodworking facilities. — Quincy : NFPA, 2012.
11. Cassel H. M., Das Gupta A. K., Guruswamy S. Factors affecting flame propagation through dust clouds // Proceedings of the 3th Symposium on Combustion, Flame, Explosion Phenomena. — Baltimore : Williams & Wikins Co., 1949.

12. Poletaev N. L., Korol'chenko A. Ya. A now on the relationship between the lower explosibility limit of dust and particle size // Proceedings of the Joint Meeting of the Russian and Japanese Sections of the Combustion Institute. — Chernogolovka, Moscow Region, 1993. — P. 116–117.
13. ISO 6184. Explosion protection system — Part 1: Determination of explosion indices of combustible dust in air. — Geneva : ISO, 1985.
14. Hertzberg M., Cashdollar K. L. (eds.). Introduction to dust explosions. The industrial dust explosions // ASTM Special Technical Publication 958. — Philadelphia : ASTM, 1987. — P. 5–32.
15. Cashdollar K. L., Hertzberg M. 20-1 Explosibility test chamber for dusts and gases // Rev. Sci. Instrum. — 1985. — Vol. 58, No. 4. — P. 596–602.
16. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П., Кулеш Дж., Стрелов Р. Взрывные явления. Оценка и последствия. — М. : Мир, 1986. — 319 с.
17. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. — 3-е изд. — Л. : Химия, 1987. — 264 с.
18. Bartknecht W. Explosionen, Ablauf und Schutzmaßnahmen. — Berlin: Springer-Verlag, 1980. — 259 s.

Материал поступил в редакцию 3 июня 2014 г.

English

EXPERIMENT-CALCULATED ESTIMATING OF THE MAXIMUM PARTICLE SIZE OF EXPLOSIVE MONODISPERSE DUST-AIR MIXTURE

POLETAEV N. L., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,
Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection
of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903,
Russian Federation; e-mail address: nlpvniipo@mail.ru)

ABSTRACT

It was considered the problem of primary (not requiring execution of firing tests) assess the degree of grinding of solid combustible material, from which dispersed material is explosive in a state of dust-air mixture. Due to the complexity and non-obviousness of the existence of the general solution of this problem we studied a special case of dust-air mixture consisting of particles which form can be approximated by the ball. The concept of maximum particle size d_{cr} conducive to the explosibility of polydispersed dust-air mixture is entered.

As the first practical step in solving the main problem the mathematical model for estimation of the maximum size d_{cr}^* particle of explosive monodisperse dust-air mixture is developed. The initial data for this model are the experimental values of the lower concentration limit of flame propagation (LEL) through dust-air mixture for several polydisperse samples of combustible material of known distribution of particles. The main assumption of this model was the legitimacy of the application of Le Chatelier law for calculation of LEL of polydisperse material considered as a mixture of monodisperse factions. Defined d_{cr}^* for coke of lignite, PVC, aluminium and polyethylene, which were respectively 30, 38, 46 and 118 microns.

They discussed the relationship between d_{cr} and d_{cr}^* . There is the example of practical use of results of work in the field of explosion hazard of dust-raising industrial room.

Keywords: explosive dust-air mixture; influence of particle size; experiment-calculated estimating.

REFERENCES

1. Eckhoff R. K. *Dust explosions in the process industries*. 3rd edition. Gulf Professional Publishing / Elsevier, Boston, 2003. 720 p.
2. Scholl E. W., Reeh D., Wiemann W. u. a. Brenn und Explosions — Kenngrößen von Stauben. *SFT-Report*, No. 2.2–79, s. 100.

3. *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, Standartinform Publ., 1998 (in Russian).
4. Poletaev N. L. O rasprostraneni plameni topolinym pukhom [About fire spread by poplar seed tufts]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 6, pp. 4–13.
5. *State Standard 12.3.047–98. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control.* Moscow, Standartinform Publ., 1998 (in Russian).
6. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 2009 (in Russian).
7. *NFPA 654. Standard for the prevention of fire and dust explosions from the manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids.* Quincy, NFPA, 2006.
8. *NFPA 61. Standard for the prevention of fires and dust explosions in agricultural and food processing facilities.* Quincy, NFPA, 2008.
9. *NFPA 484. Standard for combustible metals.* Quincy, NFPA, 2013.
10. *NFPA 664. Standard for the prevention of fires and explosions in wood processing and woodworking facilities.* Quincy, NFPA, 2012.
11. Cassel H. M., Das Gupta A. K., Guruswamy S. Factors affecting flame propagation through dust clouds. *Proceedings of the 3th Symposium on Combustion, Flame, Explosion Phenomena.* Baltimore, Williams & Wikins Co., 1949.
12. Poletaev N. L., Korol'chenko A. Ya. A now on the relationship between the lower explosiblity limit of dust and particle size. *Proceedings of the Joint Meeting of the Russian and Japanese Sections of the Combustion Institute.* Chernogolovka, Moscow Region, 1993, pp. 116–117.
13. *ISO 6184. Explosion protection system — Part 1: Determination of explosion indices of combustible dust in air.* Geneva, ISO, 1985.
14. Hertzberg M., Cashdollar K. L. (eds.). Introduction to dust explosions. The industrial dust explosions. *ASTM Special Technical Publication 958.* Philadelphia, ASTM, 1987, pp. 5–32.
15. Cashdollar K. L., Hertzberg M. 20-1 Explosibility test chamber for dusts and gases. *Rev. Sci. Instrum.*, 1985, vol. 58, no. 4, pp. 596–602.
16. Baker W. E., Cox P. A., Westine P. S., Kulesz J. J., Strehlow R. A. *Explosion hazards and evaluation.* Amsterdam–Oxford–New York, Elsevier Scientific Publishing Company, 1983 (Russ. ed.: Baker W. E., Cox P. A., Westine P. S., Kulesz J. J., Strehlow R. A. *Vzryvnyye yavleniya. Otsenka i posledstviya.* Moscow, Mir Publ., 1986. 319 p.).
17. Kouzov P. A. *Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pyley i izmelchennykh materialov* [Bases of the analysis of disperse composition of industrial dusts and particulate materials]. Leningrad, Khimiya Publ., 1987. 264 p.
18. Bartknecht W. *Explosionen, Ablauf und Schutzmaßnahmen.* Berlin, Springer-Verlag, 1980. 259 s.

В. В. СМЕРНОВ, преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); аспирант Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: s_vitaly2006@list.ru)

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, старший научный сотрудник Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а); 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, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

УДК 614.841.41:547.333.1

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. XIV. АЛКИЛАМИНЫ

Изучена взаимосвязь химического строения и пожароопасных свойств в ряду алкиламинов. Показано, что углеродное правило удовлетворительно работает в этом ряду соединений и позволяет прогнозировать физико-химические и пожароопасные показатели. Предложены эмпирические уравнения для расчета температуры кипения ($T_{\text{кип}}(\text{K}) = (13,23 + 2,8N_{\text{C}}^{0,5})^2$; $T_{\text{кип}}(\text{K}) = (15,81 + 0,84(\ln \beta)^2)^2$; $T_{\text{кип}}(\text{K}) = (12,64 + 10,9/C_{\text{CTX}}^{0,5})^2$), критического давления ($P_{\text{кр}}(\text{атм}) = 72,2 - 21,9 \ln N_{\text{C}}$), критической температуры ($T_{\text{кр}}(\text{K}) = 307,5 + 112,2N_{\text{C}}^{0,5}$), концентрационных пределов воспламенения ($C_{\text{H}}(\% \text{ об.}) = 4,96/N_{\text{C}}^{-0,85}$; $C_{\text{B}}(\% \text{ об.}) = 21N_{\text{C}}^{-0,68}$), температурных пределов воспламенения ($T_{\text{H}}(\text{K}) = -0,22N_{\text{C}}^2 + 18,3N_{\text{C}} + 193,2$; $T_{\text{B}}(\text{K}) = -0,43N_{\text{C}}^2 + 2,83N_{\text{C}} + 206,5$), теплоты сгорания ($H_{\text{ср}} \cdot 10^3(\text{кДж/моль}) = 0,3641 + 0,606N_{\text{C}}$), температуры вспышки ($T_{\text{всп}}(\text{K}) = 214,4 + 26,6(\ln N_{\text{C}})^2$; $T_{\text{всп}}(\text{K}) = (14,17 + 0,6(\ln \beta)^2)^2$; $T_{\text{всп}}(\text{K}) = (32081,63 + 123272,86/C_{\text{CTX}})^{0,5}$; $T_{\text{всп}}(\text{K}) = 0,63T_{\text{кип}} - 0,17N_{\text{C}} + 44,15$). В случае алкиламинов изостроения в формулы вместо стехиометрических коэффициента β и концентрации C_{CTX} и числа атомов углерода N_{C} подставляются псевдокоэффициент β^* ($\beta^* = \text{УУЦ} + (2\text{УУЦ} + 3)/4$), псевдостехиометрическая концентрация C_{CTX}^* , определяемая через β^* , и условная углеродная цепь. Найдены новые коэффициенты для модифицированного уравнения Орманди-Крэвена ($a = 0,63$ и $b = -56,3$).

Ключевые слова: QSPR; температура вспышки; свойство; зависимость; прогноз; алкиламины.

Данная работа является продолжением начатого нами исследования взаимосвязи *химическое строение – свойство* (QSPR — Quantitative Structure–Property Relationship) [1–13]. В качестве объекта исследования выбраны алкиламины, которые широко используются в органическом синтезе пестицидов, лекарственных препаратов и красителей.

В настоящее время по температуре вспышки горючих веществ и материалов накоплен большой массив данных, который позволяет апробировать на ней различные методики и подходы прогнозирования этого показателя пожаровзрывоопасности [14–18]. Национальный стандарт РФ [14] в практической работе допускает использовать как экспериментальные, так и расчетные значения температуры вспышки. Для алкиламинов предложены уравнения (1) и (2) [14, 19]. В настоящей работе в результате обработки литературных данных (табл. 1) [20–25]

уточнены коэффициенты в формуле (1) и предложено уравнение (3) с рабочим диапазоном от C_1 до C_{18} :

$$t_{\text{всп}} = 0,58t_{\text{кип}} - 55,4; \quad (1)$$

$$t_{\text{всп}} = 0,659t_{\text{кип}} + \left[\sum_{i=1}^n (a_i l_i) - 73,14 \right]; \quad (2)$$

$$t_{\text{всп}} = 0,63t_{\text{кип}} - 56,3 \quad (r^2 = 0,995), \quad (3)$$

где a_i — эмпирический коэффициент i -й группы; l_i — количество i -х групп.

В табл. 2 приведены уравнения (4)–(17) для прогнозирования критического давления $P_{\text{кр}}$, теплоты сгорания $Q_{\text{ср}}$, температуры кипения $T_{\text{кип}}$ ¹, температуры вспышки $T_{\text{всп}}$, критической температуры $T_{\text{кр}}$, нижнего и верхнего температурных пределов T_{H} и T_{B} , нижнего и верхнего концентрационных пределов C_{H} и C_{B} .

¹ По умолчанию температура, обозначенная t , приводится в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), T — в кельвинах (K).

Таблица 1. Физико-химические и пожароопасные свойства алкиламинов

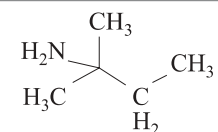
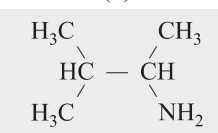
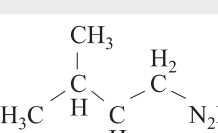
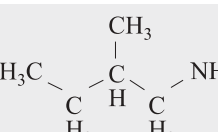
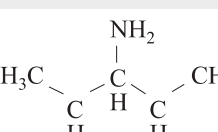
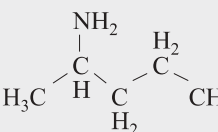
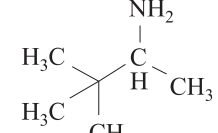
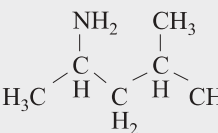
Алкиламин Номер (УУЦ)	$P_{кр}$, атм	$Q_{сг} \cdot 10^3$, кДж/моль	Температура, К					КПВ, % (об.)	
			$T_{кип}$	$T_{всп}$	$T_{кр}$	T_n	T_v	C_n	C_v
CH ₃ NH ₂ I (1)	74,6	0,975	252 ¹	207 ¹	430	216	237	4,9	20,7
	73,6	0,970	321	225 ²	420	211	230	5,0	21,0
	72,2		267	215					
			257	217					
			268	214					
			262	209					
				212					
CH ₃ CH ₂ NH ₂ II (2)	55,5	1,587	287 ¹	256 ¹	456	224	249	2,7	14
	56,2	1,576	290	240 ²	466	229	252	3,5	13,8
	57	1,570*	295	227	463*	230*	254*	2,8	15,6*
	60,6*		299	236				3,5*	
			297	227					
			294*	228					
				232					
CH ₃ (CH ₂) ₂ NH ₂ III (3)	46,8	2,165	320 ¹	236 ¹	496	244	270	2	10,4
	47,4	2,182	321	261 ²	502	246	274	1,9	10,7
	48,1	2,182*	327	236	494*	244*	272*	2,1*	11,9*
	48,8*		328	246					
			326	247					
			320*	250					
				248					
CH ₃ (CH ₂) ₃ NH ₂ IV (4)	41,5	2,776	350 ¹	259 ¹	524	264	294	1,5	9,8
	42,0	2,778	350	280 ²	532	263	295	1,7	9,0
	41,8	2,776*	355	261	532	262*	291*	1,5	9,1*
	41,5*		356	266	526*			1,7*	
			353	266					
			349*	265					
				267					
CH ₃ (CH ₂) ₄ NH ₂ V (5)	35,8	3,387	379 ¹	277 ¹	555	279	311	1,3	7,7
	37,0	3,394	377	298 ²	558	279	315	2,2	22
	37,0*	3,387*	380	277	558*	281*	313*	1,3	7,9
			382	280				1,3*	8,3*
			378	283					
			377*	281					
				283					
CH ₃ (CH ₂) ₅ NH ₂ VI (6)	32,7	3,998	404 ¹	282 ¹	587	297	331	1,1	6,8
	31,8	4,000	404	316 ²	584	295	334	2,1	9,3
	33,0	3,998*	404	300	582	296*	330*	1,1	7,0
	32,2*		407	301	581*			1,2*	7,0*
			402	300					
			404*	296					
				301					
CH ₃ (CH ₂) ₆ NH ₂ VII (7)	28,5	4,609	429 ¹	308 ¹	607	312	349	1	6,2
	29,6	4,606	430	334 ²	604	311	352	0,9	7,2
	29,0*	4,609*	426	328	606*	311*	356*	0,9*	6,4
			430	317					
			424	315					
			429*	310					
				313					
				317					
				317*					

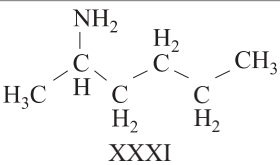
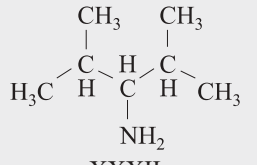
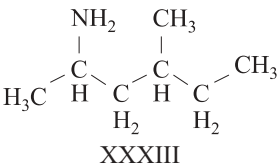
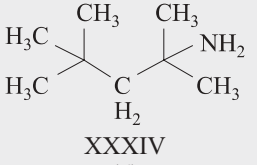
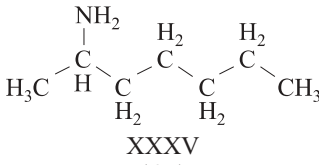
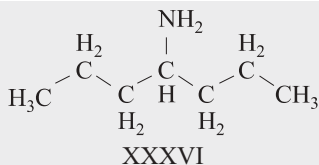
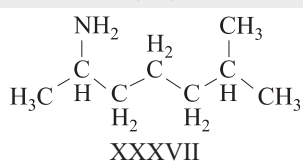
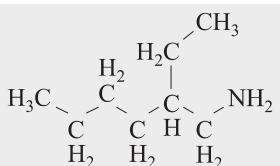
Продолжение табл. 1

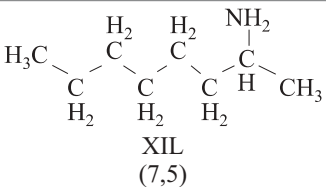
Алкиламин Номер (УУЦ)	$P_{кр}$, атм	$Q_{сг} \cdot 10^3$, кДж/моль	Температура, К					КПВ, % (об.)	
			$T_{кип}$	$T_{всп}$	$T_{кр}$	T_n	T_v	C_n	C_v
CH ₃ (CH ₂) ₇ NH ₂ VIII (8)	25,8	5,219	452 ¹	336 ¹	641	324	380	1,6	8,2
	26,7	5,212	453	349 ²	627	326	369	0,7	9,64
		5,220*	447	333	625	326*	373*	0,8	5,9
			452	329	628*			0,9*	6,1*
			446	324					
			452*	327					
				332					
				330*					
CH ₃ (CH ₂) ₈ NH ₂ IX (9)	23,6	5,830	474 ¹	336 ¹	648	339	396	0,8	5,9
	24,1	5,818	474	363 ²	644	340	386	0,8	5,5
	23,8*	5,830*	468	343	645*	341*	389*	0,7*	
			473	343					
			467	337					
			474*	340					
				345					
				346*					
CH ₃ (CH ₂) ₉ NH ₂ X (10)	21,8	6,441	494 ¹	359 ¹	663	357	398	0,7	5,5
	21,8	6,424	494	376 ²	662	354	402	0,7	5,2
	21,9*	6,447*	488	358	665*	354*	405*	0,7*	5,3*
			493	372					
			487	355					
			494*	349					
				353					
				357					
CH ₃ (CH ₂) ₁₀ NH ₂ XI (11)	20,2	7,052	514 ¹	365 ¹	682	368	413	0,6	4,7
	19,7	7,030	513	389 ²	680	368	416	0,6	4,9
	20,3*	7,030*	507	365	681*	370*	413*	0,7*	5,0*
			512	367					
			506	360					
			507*	365					
				369					
				371*					
CH ₃ (CH ₂) ₁₁ NH ₂ XII (12)	18,8	7,618	532 ¹	373 ¹	698	383	428	0,6	4,5
	17,8	7,636	520	394 ²	696	383	430	0,6	4,6
			526	383					
			530	385					
			526*	379					
				372					
				377					
				374					
CH ₃ (CH ₂) ₁₂ NH ₂ XIII (13)	16,0	8,242	549 ¹	384 ¹	712	394	443	0,6	4,4
	17,7*	8,226*	538	406 ²	710*	395*	442*	0,6*	4,3*
			544	384					
			548	389					
			542*	382					
				388					
				385					
				396*					
CH ₃ (CH ₂) ₁₃ NH ₂ XIV (14)	16,6	8,833	565 ¹	393 ¹	722	406	456	0,5	4,1
	14,4	8,848	564	423 ²	727	406	455	0,5	4,2
			562	406					
			565	408					
			563	400					
			559*	393					
				399					
				401					

Алкиламин Номер (УУЦ)	$P_{кр}$, атм	$Q_{сг} \cdot 10^3$, кДж/моль	Температура, К					КПВ, % (об.)	
			$T_{кип}$	$T_{всп}$	$T_{кр}$	T_n	T_v	C_n	C_v
$CH_3(CH_2)_{14}NH_2$ XV (15)			580 ¹ 580 580 582 581 584*	402 ¹ 434 ² 402 409 410 412 411*					
$CH_3(CH_2)_{15}NH_2$ XVI (16)			595 ¹ 603 597 598	414 ¹ 449 ² 414 419 412 421					
$CH_3(CH_2)_{16}NH_2$ XVII (17)			609 ¹ 614 620 613*	419 ¹ 428 423 434 425*					
$CH_3(CH_2)_{17}NH_2$ XVIII (18)			622 ¹ 622 630 629 633	427 ¹ 462 ² 383 437 431 441 438					
$\begin{array}{c} NH_2 \\ \\ H_3C - C - CH_3 \\ \\ H \end{array}$ XIX (2,5)	45,4 48,0 48,8*	2,16 2,180 2,182*	304 ¹ 305 312 314 317 306*	241 ¹ 250 ² 236 241 244 237*	472 485 476*	232 238 234*	257 263* 260*	2 1,9 2,1*	10,4 10,7 11,9*
$\begin{array}{c} NH_2 \\ \\ H_3C - C - CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$ XX (3)	38,4 37,9 42,0 41,5*	2,75 3,00 2,778 2,776*	317 ¹ 317 327 328 331 320*	264 ¹ 259 ² 235 250 253 246*	484 502 494*	235 246 244*	262 274 272*	1,5 1,7 1,9 1,7*	8,9 9,2 10,7 9,1*
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C - C - C - NH_2 \\ \quad \\ H \quad H_2 \end{array}$ XXI (3,5)	42,2 40,2 42,0 41,5*	2,77 3,01 2,778 2,776*	341 ¹ 339 334 341 342 345 336*	260 ¹ 272 ² 263 253 254 259 262 255*	514 519 517 514*	255 255 254*	287 285 282*	2,0 1,8 1,6 1,5 1,7*	10,8 9,0 9,0 9,1*
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ H_3C - CH - CH_3 \\ \\ NH_2 \end{array}$ XXII (3,5)	40,0 42,0 41,5*	2,77 2,98 3,02 2,778 2,776*	336 ¹ 336 337 334 341 342 345 336*	253 ¹ 271 ² 254 253 259 262 255*	514 517 514*	249 255 254*	283 285 282*	1,6 1,8 1,5 1,7*	11,6 9,0 9,0 9,1*

Продолжение табл. 1

Алкиламин Номер (УУЦ)	$P_{кр}$, атм	$Q_{сг} \cdot 10^3$, кДж/моль	Температура, К					КПВ, % (об.)	
			$T_{кип}$	$T_{всп}$	$T_{кр}$	T_n	T_v	C_n	C_v
 XXIII (4)	36,6 37,0 37,0*	3,37 3,394 3,338*	350 ¹ 353 355 356 358 349*	272 ¹ 282 ² 272 268 270 263*	526 532 526*	257 263 262*	290 295 291*	1,3 1,3 1,3*	9,1 7,9 8,3*
 XXIV (4)	37,0 37,0*	3,394 3,338*	369 ¹ 358 353 355 356 358 349*	245 ¹ 284 ² 245 269 268 270 263*	532 526*	263 262*	295 291*	1,3 1,3*	7,9 8,3*
 XXV (4,5)	37,0 37,0*	3,64 3,394 3,338*	366 ¹ 370 367 369 370 364*	291 ¹ 294 ² 272 276 278 272*	546 544*	271 272*	305 303*	1,6 1,3 1,3*	7,9 8,3*
 XXVI (4,5)	37,0 37,0*	3,394 3,338*	365 ¹ 370 368 367 369 370 364*	276 ¹ 293 ² 276 276 278 272*	546 544*	271 272*	305 303*	1,3 1,3*	7,9 8,3*
 XXVII (4,5)	37,0 37,0*	3,394 3,338*	365 ¹ 363 367 369 370 364*	275 ¹ 289 ² 275 276 278 272*	546 544*	271 272*	305 303*	1,3 1,3*	7,9 8,3*
 XXVIII (4,5)	37,0 37,0*	3,394 3,338*	366 ¹ 360 367 369 370	308 ¹ 287 ² 308 276 278 272*	546 544*	271 272*	305 303*	1,3 1,3*	7,9 8,3*
 XXIX (4,5)	33,0 32,2*	4,000 3,998*	372 ¹ 373 367 369 370 364*	273 ¹ 296 ² 280 275 276 278 272*	546 544*	271 272*	305 303*	1,1 1,2*	7,0 7,0*
 XXX (5)	33,0 32,2*	4,000 3,998*	381 ¹ 379 380 382 377*	286 ¹ 300 ² 285 284 286 282*	555 558 558*	279 288*	315 313*	1,1 1,2*	7,0 7,0*

Алкиламин Номер (УУЦ)	$P_{кр}$, атм	$Q_{сг} \cdot 10^3$, кДж/моль	Температура, К					КПВ, % (об.)	
			$T_{кип}$	$T_{всп}$	$T_{кр}$	T_n	T_v	C_n	C_v
 XXXI (5,5)	33,0 32,2*	4,000 3,998*	389 ¹ 389 392 395 394 391*	299 ¹ 306 ² 285 299 291 293 290*	571 570*	287 288*	324 321*	1,1 1,2*	7,0 7,0*
 XXXII (6,0)	30,0 29,0*	4,606 4,609*	396 ¹ 405 404 407 406 404*	295 ¹ 317 ² 293 299 301 298*	582 581*	295 296*	334 330*	0,9 1,2*	6,4 7,0*
 XXXIII (6)	29,9 30,0 29,0*	4,606 4,609*	407 ¹ 408 404 407 406 404*	302 ¹ 319 ² 302 299 301 298*	578 582 581*	295 296*	334 330*	0,9 1,2*	6,4 7,0*
 XXXIV (6)	27,0 27,0	5,212 5,220*	416 ¹ 410 404 407 406 404*	305 ¹ 321 ² 305 299 301 298*	610 582 581*	295 296*	334 330*	0,8 0,9*	5,9 6,1*
 XXXV (6,5)	30,0 29,0*	4,606 4,609*	418 ¹ 416 413 415 415 418 417 417*	327 ¹ 324 ² 327 315 306 308 309*	594 596*	303 305*	343 340*	0,9 1,1*	6,4 6,5*
 XXXVI (6,5)	29,6 30,0 29,0*	4,606 4,609*	412 ¹ 412 415 418 417 417*	314 ¹ 322 ² 314 306 308 309*	627 594 596*	303 305*	343 340*	0,9 1,1*	6,4 6,5*
 XXXVII (7)	27,0	5,212 5,220*	428 ¹ 427 426 430 428 429*	322 ¹ 332 ² 321 313 315 317*	604 606*	311 311*	352 356*	0,8 0,9*	5,9 6,1*
 XXXVIII (7,5)	26,8 27,0	5,212 5,220*	440 ¹ 442 437 441 439 442*	325 ¹ 342 ² 323 320 322 325*	614 615 617*	318 318*	361 365*	0,8 0,8 0,9*	6,0 5,9 6,1*

Алкиламин Номер (УУЦ)	$P_{кр}$, атм	$Q_{сг} \cdot 10^3$, кДж/моль	Температура, К					КПВ, % (об.)	
			$T_{кип}$	$T_{всп}$	$T_{кр}$	T_n	T_v	C_n	C_v
 XII (7,5)	27,0	5,212 5,220*	437 ¹	324 ¹	615	326	361	0,8	5,9
			438	340 ²	617*	318*	365*	0,9*	6,1*
			436	333					
			443	323					
			437	320					
			441	322					
			439	325*					
			442*						

Примечания:

1. Жирным шрифтом выделены значения, которые не учитывались при выводе формул, курсивом — данные, полученные по формулам (3)–(17).
2. Символом “*” обозначены данные, прогнозируемые по правилу углеродной цепи, “¹” — расчетные значения из базы данных [23], полученные по методу “ACD/Lab”, “²” — расчетные значения по [14].

Литературные данные [20–25] и значения физико-химических и пожароопасных показателей алкиламинов изостроения, прогнозируемые по уравнениям (3)–(16) и правилу углеродной цепи, представлены в табл. 1. В уравнения (3)–(16) вместо количества атомов углерода N_C , стехиометрических коэффициента β и концентрации $C_{стх}$ подставлялись значения условной углеродной цепи (УУЦ), псевдостехиометрического коэффициента β^* и псевдостехиометрической концентрации $C_{стх}^*$. При прогнозировании $P_{кр}$, C_n , C_v , $Q_{сг}$ расчет выполнялся не по УУЦ, а по N_C .

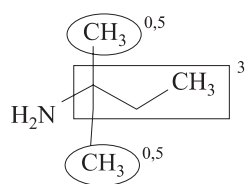
Порядок определения УУЦ приведен на рисунке. Например, для третиламина (XXIII) и 3-метил-2-бутиламина (XXIV) основная углеродная цепь (ОУЦ) равна 3 (на рисунке выделена прямоугольником). УУЦ будет равна ОУЦ плюс два вклада метильных групп по 0,5. Ранее было установлено, что каждая метильная группа в соединении изомерного строения удлиняет ОУЦ на 0,5, этильная — на 1,5, пропильная — на 2,5 [1–14]. Таким образом, УУЦ соединений (XXIII) и (XXIV) будет равна 4, и показатели этих соединений могут быть предсказаны по свойствам бутиламина (IV) (см. табл. 1).

Перемещение метильной и аминогрупп в молекулах алкиламинов (XXV), (XXVI), (XXVII) и (XXVIII) не приводит к существенному изменению

² Псевдостехиометрическая концентрация найдена через псевдостехиометрический коэффициент $\beta^* = \text{УУЦ} + (\text{УУЦ} \cdot 2 + 3)/4$.

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

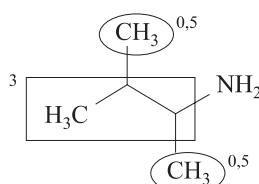
Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
$T_{кип}$, К	$T_{кип} = (13,23 + 2,8N_C^{0,5})^2$	(4)	0,997	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{всп}$, К	$T_{всп} = 214,4 + 26,6(\ln N_C)^2$	(5)	0,998	$1 \leq N_C \leq 18$
$P_{кр}$, атм	$P_{кр} = 72,2 - 21,9 \ln N_C$	(6)	0,996	$1 \leq N_C \leq 14$
$T_{кр}$, К	$T_{кр} = 307,5 + 112,2N_C^{0,5}$	(7)	0,996	$1 \leq N_C \leq 14$
$H_{сг}$, кДж/моль	$H_{сг} \cdot 10^3 = 0,3641 + 0,606 N_C$	(8)	1,000	$1 \leq N_C \leq 14$
C_n , % (об.)	$C_n = 4,96N_C^{-0,85}$	(9)	0,998	$1 \leq N_C \leq 14$
C_v , % (об.)	$C_v = 21N_C^{-0,61}$	(10)	0,994	$1 \leq N_C \leq 14$
T_n , К	$T_n = -0,22N_C^2 + 18,3N_C + 193,24$	(11)	0,998	$1 \leq N_C \leq 14$
T_v , К	$T_v = -0,43N_C^2 + 23,8N_C + 206,5$	(12)	0,994	$1 \leq N_C \leq 14$
$T_{кип}$, К	$T_{кип} = (15,81 + 0,84(\ln \beta)^2)^2$	(13)	0,999	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{всп}$, К	$T_{всп} = (14,17 + 0,6(\ln \beta)^2)^2$	(14)	0,993	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{кип}$, К	$T_{кип} = (12,64 + 10,9/C_{стх}^{0,5})^2$	(15)	0,997	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{всп}$, К	$T_{всп} = \sqrt{32081,63 + 123272,86/C_{стх}}$	(16)	0,995	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{всп}$, К	$T_{всп} = 0,63T_{кип} - 0,17N_C + 44,15$	(17)	0,996	$1 \leq N_C \leq 18$



(XXIII)

$$T_{\text{кип}} = 353 \text{ K}; T_{\text{всп}} = 272 \text{ K};$$

$$T_{\text{н}} = 257 \text{ K}; T_{\text{в}} = 290 \text{ K}$$



(XXIV)

$$T_{\text{кип}} = 353,358 \text{ K}; T_{\text{всп}} = 272 \text{ K}$$

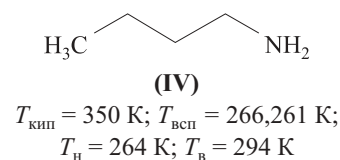


Схема применения правила углеродной цепи

их свойств. Таким образом, правило углеродной цепи и свойство функциональной группы, обнаруженные ранее [1–13, 26], работают и в ряду алкиламинов. С помощью формул (3)–(17) и правила углеродной цепи выявлены сомнительные литературные значения показателей физико-химических и пожароопасных свойств алкиламинов (см. табл. 1).

В заключение отметим, что в результате проведенного исследования предложены новые эмпирические уравнения, позволяющие прогнозировать неизвестные физико-химические и пожароопасные свойства алкиламинов; продемонстрировано действие правила углеродной цепи и свойства функциональной группы для этого класса соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканоламы // 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. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 13–21.
10. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 9–19.
11. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 25–37.
12. Алексеев С. Г., Мавлютова Л. К., Кошелев А. Ю., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XII. Алкилбензолы и диалкилбензолы // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 38–46.

13. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIII. Тиоспирты // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 15–25.
14. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2(48).
15. 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.
16. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть II. Расчет через давление насыщенного пара // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 21–35.
17. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть III. Методы расчета через температуру кипения // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 3. — С. 30–43.
18. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть IV. Декрипторный метод расчета // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 18–37.
19. Möller W., Schulz P., Redeker T. Verfahren zur abschätzung des flammpunkts und der unteren explosionsgrenze // PTB-Bericht / W:55. — Bremerhaven : Wirtschaftsverl, NW, 1993. — 64 s.
20. База данных DIPPR 801. URL : <http://dippr.byu.edu/public/chemsearch.asp> (дата обращения: 15.05.2014 г.).
21. База данных университета Akron. URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/> (дата обращения: 15.05.2014 г.).
22. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 15.05.2014 г.).
23. База данных "ChemSpider". URL : <http://www.chemspider.com> (дата обращения: 15.05.2014 г.).
24. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
25. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 2. — 774 с.
26. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Показатели пожарной опасности и эффект положения функциональной группы // Безопасность критичных инфраструктур и территорий : материалы IV Всероссийской конференции и XIV школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. — С. 80–81.

Материал поступил в редакцию 3 июня 2014 г.

English

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. XVII. ALKYLAMINES

SMIRNOV V. V., Lecturer of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: s_vitaly2006@list.ru)

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCS, Senior Researcher of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation); Senior Researcher of 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, Head of Chemistry Department of Ural State Agrarian University (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation); Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

ABSTRACT

The correlation of chemical structure and fire-dangerous properties is studied in number of alkylamines. It is shown, that for these compounds the carbon rule which allows to predict their

physicochemical and fire-dangerous properties well works. Empirical equations of calculation are offered for boiling point ($BP(K) = (13,23 + 2,8N_C^{0,5})^2$; $BP(K) = (15,81 + 0,84(\ln\beta)^2)^2$; $BP(K) = (12,64 + 10,9/C_s^{0,5})^2$), critical pressure ($P_c(\text{atm}) = 72,2 - 21,9 \ln(N_C)$), critical temperature ($T_c(K) = 307,5 + 112,2 N_C^{0,5}$), lower and upper flammability limit ($LFL(\%) = 4,96/N_C^{-0,85}$; $UFL(\%) = 21 N_C^{-0,68}$), lower and upper flammability limit temperature ($LFLT(K) = -0,22 N_C^2 + 18,3 N_C + 193,2$; $UFLT(K) = -0,43 N_C^2 + 2,83 N_C + 206,5$), heat of combustion ($H_{comb} \cdot 10^3(\text{kJ/mole}) = 0,3641 + 0,606 N_C$), flash point ($FP(K) = 214,4 + 26,6(\ln N_C)^2$; $FP(K) = (14,17 + 0,6(\ln\beta)^2)^2$; $FP(K) = (32081,63 + 123272,86/C_s)^{0,5}$; $TB(K) = 0,63 BP(K) - 0,17 N_C + 44,15$). In the case of isomeric compounds, conditional carbon chain (CCC), pseudofactor $\beta^* = CCC + (2CCC + 3)/4$, pseudo-stoichiometric concentration C_s^* are substituted in formulas. New coefficients for the modified Ormandy–Craven's equation ($a = 0,63$ and $b = -56,3$) were found.

Keywords: QSPR; flash point; property; dependence; prediction; alkylamines.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. I. Alkanoly [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. I. Alcohols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30.
2. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
3. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
4. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. IV. Prostyye efiry [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16.
5. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acid]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46.
6. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37.
7. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
8. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
9. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. IX. Khloroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
10. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. X. Slozhnyye efiry (chast 2) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. X. Esters (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 9–19.
11. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Kalach A. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XI. Galogenalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XI. Haloalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 25–37.

12. Alexeev S. G., Mavlyutova L. K., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. XII. Alkilbenzoly i dialkilbenzoly [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XII. Alkylbenzenes and dialkylbenzenes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 38–46.
13. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. XIII. Tiospirty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XIII. Alkylthiols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 15–25.
14. 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, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996, 2001. Available at : NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).
15. 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]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41.
16. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast II. Raschet cherez davleniye nasyshchennogo para [Flash point. Part II. Calculation via partial pressure]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 21–35.
17. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast III. Metody rascheta cherez temperaturu kipeniya [Flash point. Part III. Calculation via boiling point]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 30–43.
18. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast IV. Deskriptornyy metod rascheta [Flash point. Part IV. Descriptors method of calculation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 18–37.
19. Möller W., Schulz P., Redeker T. Verfahren zur abschätzung des flammpunkts und der unteren explosionsgrenze. PTB-Bericht, W: 55. Bremerhaven, Wirtschaftsverl, NW, 1993, 64 s.
20. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr/> (Accessed 15 May 2014).
21. Sigma-Aldrich database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 15 May 2014).
22. Akron University database. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/> (Accessed 15 May 2014).
23. ChemSpider database. Available at: <http://www.chemspider.com> (Accessed 15 May 2014).
24. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost 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.
25. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost 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. 2, 774 p.
26. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Pokazateli pozharnoy opasnosti i effekty polozheniya funktsionalnoy gruppy [Indices of fire hazard and the effect of a functional group]. *Trudy IV Vserossiyskoy konferentsii i XIV shkoly molodykh uchenykh "Bezopasnost kriticheskikh infrastruktur i territoriy"* [Proc. IV All-Russian conf. and XIV School of young scientists "Safety of critical infrastructures and territories"]. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2011, pp. 80–81.

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

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

Т. В. ЧЕРНИКОВА, канд. хим. наук, доцент кафедры химии и процессов горения, Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

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

УДК 614.841.41

ДЕСКРИПТОРНЫЙ МЕТОД В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОЖАРООПАСНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Приведена классификация дескрипторов. Исследована возможность прогнозирования пожароопасных свойств органических соединений на основе данных о молекулярных дескрипторах. Предложены уравнения для расчета температуры вспышки альдегидов, сложных эфиров, карбоновых кислот, аминов и кетонов.

Ключевые слова: дескриптор; прогнозирование; пожароопасные свойства; температура вспышки; органические соединения.

Фундаментальной задачей современной химии является разработка методов, позволяющих с высокой степенью вероятности прогнозировать физико-химические и пожароопасные свойства известных или еще не синтезированных веществ, а также целенаправленно конструировать химические соединения с заданными свойствами.

На современном этапе развития химии накоплен огромный объем экспериментальных данных и создано большое количество электронных баз данных [1–4]. В связи с этим особое внимание уделяется компьютерным методам обработки характеристик уже исследованных веществ с целью предсказания свойств еще не изученных соединений или новых, еще не синтезированных веществ. Это открывает большие перспективы в решении важнейшей задачи химической науки — целенаправленной разработки новых веществ и материалов с заранее заданными свойствами.

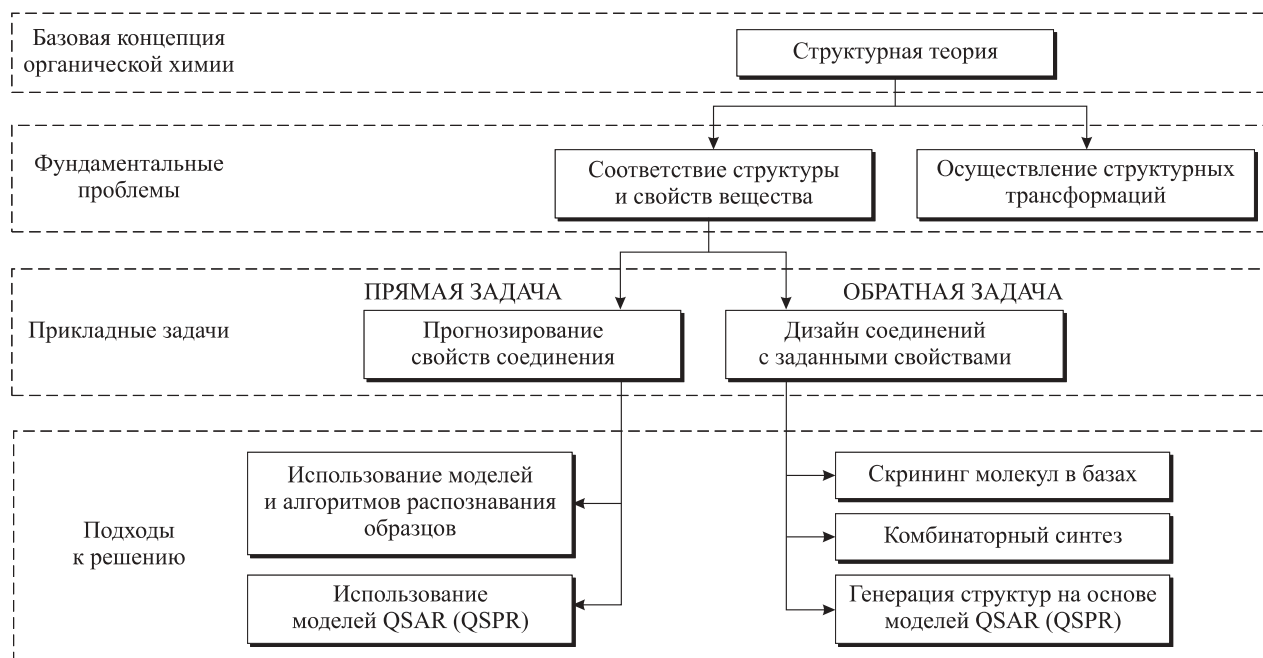
Несмотря на актуальность этой задачи до последнего времени отсутствовала универсальная модель, строго обоснованная и в то же время легкая для понимания методология, позволяющая на основе обработки экспериментальных данных прогнозировать пожароопасные свойства органических соединений.

Быстрое развитие и внедрение в практику научных исследований вычислительной техники и программных средств способствуют более широкому

распространению численных методов исследования и прогнозирования различных свойств (физических, химических, биологических, экологических, технологических) простых и сложных веществ на основе данных, характеризующих свойства и строение их молекул (химические структуры). Перспективное значение имеет метод, основанный на моделировании зависимости *структура – свойство* (*Quantitative Structure – Property Relationship (QSPR)* или *Quantitative Structure – Activity Relationship (QSAR)*) и применении моделей для получения предварительных (оценочных) данных, которые могут быть использованы при анализе научных гипотез [5–7].

Настоящая работа является исследованием в области компьютерного прогнозирования пожароопасных свойств химических соединений и посвящена разработке моделирования зависимости *структура – пожароопасность вещества*. С точки зрения методологии прогнозирования свойства рассматриваемый подход представляет собой неформализованную задачу установления зависимости *структура – свойство*. При этом в равной степени важны решения как прямой, так и обратной задач (см. рисунок).

Цель настоящей работы – разработка аналитической зависимости *структура – свойство* для прогнозирования температуры вспышки органических соединений. Данные по температуре вспышки необходимы для разработки комплекса мероприятий,



Задачи установления взаимосвязей *структура – свойство* и подходы к их решению

направленных на развитие методов инженерного обеспечения безопасности зданий, сооружений, технологических процессов, оборудования, безопасности людей при работе с веществами, материалами и изделиями. Кроме того, эти данные необходимы при разработке системы мер по предотвращению возникновения пожаров и взрывов, а также для оценки условий их развития и подавления.

Существующие методы прогнозирования температуры вспышки индивидуальных органических веществ можно разбить на две группы — дескрипторные и сравнительные. Данное исследование посвящено использованию дескрипторных методов в прогнозировании пожароопасных свойств органических соединений.

В качестве дескрипторов могут использоваться показатели физико-химических и пожароопасных свойств, структурные и молекулярные характеристики веществ. Так, например, стандартные методы расчета температуры вспышки органических соединений основаны на данных по давлению насыщенного пара жидкостей и их температурам кипения [8].

В принципе, дескриптором может являться как число, рассчитываемое из структурной формулы (молекулярная масса, количество атомов, частичные заряды на атомах и т. д.), так и фрагмент структуры. К настоящему времени описана теория построения и использования множества дескрипторов. При этом дальнейшее углубление представлений о молекулярной структуре дает возможность создавать новые дескрипторы и модели, отражающие эти представления [9–12].

Молекулярные дескрипторы (или просто — дескрипторы) представляют собой различные параметры молекулы, которые используются для оценки тех или иных свойств химического соединения. Дескрипторы, используемые в прогнозировании, условно делятся на четыре группы:

1) физико-химические и пожароопасные свойства, описывающие объемные, геометрические и другие характеристики горючего вещества;

Таблица 1. Классификация молекулярных дескрипторов

Класс дескрипторов	Тип дескрипторов
Дескрипторы элементного уровня	1. Число атомов одного сорта. 2. Атомные веса фрагментов структуры
Дескрипторы структурной формулы	1. Топологические индексы. 2. Структурные фрагменты
Дескрипторы электронного уровня	1. Частичные заряды на атомах. 2. Молекулярные рефракции. 3. Энергии высшей занятой и низшей незанятой орбиталей
Дескрипторы молекулярной формы (геометрические дескрипторы)	1. Длины связей. 2. Площадь поверхности молекулы. 3. Гравитационные индексы
Дескрипторы межмолекулярных взаимодействий	1. Константы Гамета. 2. Индукционные константы. 3. Стерические константы

Таблица 2. Значения коэффициентов для изученных классов органических соединений

Класс соединений	Значение коэффициента					
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
Предельные альдегиды	–58,7	–0,07	–2,14	–0,36	0,15	0,91
Алкенали	–117,21	–0,043	18,27	0,763	–0,281	–0,876
Ароматические альдегиды	–52,71	–0,124	12,578	0,047	–0,027	0,378
Алкилацетаты	–120	–0,05	3,20	0,65	–0,40	0,66
Ароматические сложные эфиры	–84,7	–0,02	–	0,28	–0,047	–0,043
Ароматические карбоновые кислоты	–230,6	–0,48	–	–0,76	0,08	–0,66
Ароматические амины	121	–0,04	–	–1,02	0,32	1,98
Предельные нитросоединения	6,67	0,31	0,18	–0,042	0,086	–0,006
Ароматические нитросоединения	$4,6 \cdot 10^{-6}$	0,484	$-2,7 \cdot 10^{-5}$	0,018	–0,091	1,08
Предельные кетоны	–77,47	–0,053	12,58	0,114	–0,075	0,185

2) индикаторные переменные, отражающие наличие или отсутствие в молекуле того или иного структурного фрагмента (заместителя);

3) топологические индексы, характеризующие особенности строения молекулы на основании плоского графа;

4) стереоэлектронные или квантово-химические характеристики, связанные с пространственным строением молекулы и электронными параметрами атомов.

Иерархия дескрипторов, традиционно применяемых для описания структуры молекул химических соединений, представлена в табл. 1.

Известны работы, посвященные прогнозированию температуры вспышки органических соединений на основе данных по ИК-спектрам [13], с использованием правила углеродной цепи [14–16] и фрагментных дескрипторов [17].

В настоящей работе для прогнозирования температуры вспышки применяли дескрипторы структурной формулы: топологические индексы — индекс Винера W (Wiener index), индекс Рандича χ (Randic index) и геометрические дескрипторы: площадь поверхности молекулы S (Molecular surface area), гравитационные индексы (Gravitation index) — G_1 (all bonds) и G_2 (all pairs). Возможность использования данных дескрипторов для прогнозирования температуры вспышки была исследована нами ранее на примере алкилацетатов, альдегидов, ароматических сложных эфиров, ароматических карбоновых кислот, аминов, нитросоединений и кетонов [18–21]. Для перечисленных классов органических соединений установлены корреляционные зависимости *температура вспышки – структура молекулы*, которые представлены в виде аппроксимационных уравнений:

$$t_{\text{всп}} = a_1 + a_2W + a_3\chi + a_4G_1 + a_5G_2 + a_6S,$$

где $t_{\text{всп}}$ — температура вспышки, °C;

$a_1, \dots, a_6$ — коэффициенты (табл. 2).

Таблица 3. Результаты апробации аппроксимационных уравнений

Вещество	Температура вспышки, °С		Абсо- лютная погреш- ность расчетов, °С
	расчетная	справочная [1–4, 15, 16]	
Предельные альдегиды			
3-Метилбутаналь	–6	2	8
2-Метилпентаналь	12	20	8
Пентаналь	9	12	3
Гептаналь	39	43	4
2-Метилнонаналь	73	85	12
Додеканаль	109	119	10
Алкены			
2-Метил-2-пропеналь	1	2	1
2-Бутеналь	7	13	6
Транс-2-бутеналь	7	9	2
Транс-2-пентеналь	23	22	1
Цис-4-гептеналь	43	41	2
2,2-Диметил-4-пентеналь	8	18	10
Транс-2-гептеналь	51	51	–
2-Бутилакролеин	29	33	4
2-Этил-2-гексеналь	46	53	7
Транс-2-ноненаль	77	79	2
2,6-Диметил-5-гептеналь	70	61	9
Цис-6-ноненаль	76	75	1
(3S)-3,7-Диметил-6-октеналь	79	75	4
(3R)-3,7-Диметил-6-октеналь	79	75	4
10-Ундеканаль	101	93	8
Транс-2-додеценаль	104	113	9
Ароматические альдегиды			
2-Фенилпропаналь	86	69	17
4-Метилбензальдегид	81	72	9

Продолжение табл. 3

Вещество	Температура вспышки, °С		Абсолютная погрешность расчетов, °С
	расчетная	справочная [1–4, 15, 16]	
2-Метилбензальдегид	78	79	1
2,5-Диметилбензальдегид	90	88	2
4-Этилбензальдегид	95	92	3
2,6-Диметилбензальдегид	88	96	8
3,5-диметилбензальдегид	91	99	8
2,3-Диметилбензальдегид	91	101,7	11
4-Бутилбензальдегид	108	103	5
2,4,6-Триметилбензальдегид	103	105	2
2,4,5-Триметилбензальдегид	102	110	8
<i>Сложные ароматические эфиры</i>			
Этилбензоат	80	93	13
Изобутилбензоат	109	99	10
Изопропилбензоат	92	86	6
Изопентилбензоат	115	124	9
Пентилсалицилат	138	132	6
Бензилсалицилат	177	167	10
Бензилацетат	92	90	2
Этилбензоилбензоат	178	188	10
<i>Ароматические амины</i>			
3-Метиланилин	73	86	13
4-Метиланилин	87	87	0

Окончание табл. 3

Вещество	Температура вспышки, °С		Абсолютная погрешность расчетов, °С
	расчетная	справочная [1–4, 15, 16]	
2,3-Диметиланилин	87	97	10
α-Диметиламиноэтилбензол	75	79	4
2-Метил-6-этиланилин	108	104	4
Этиланилин	82	85	3
<i>Предельные кетоны</i>			
3-Метил-2-бутанон	12	1	11
3-Пентанон	13	7	6
2,4-Диметил-3-пентанон	35	23	12
3-Гексанон	32	35	3
2-Гептанон	46	39	7
4-Гептанон	43	49	6
3-Октанон	52	51	2
2-Октанон	59	60	1
2,6-Диметил-4-гептанон	62	49	13
2-Нонанон	72	68	4
3-Нонанон	70	68	2
4-Нонанон	67	61	6
5-Нонанон	66	60	6
2-Деканон	81	82	1
2-Ундеканон	92	89	4
2-Додеканон	106	108	1

Адекватность аппроксимационных уравнений проверяли, рассчитывая температуру вспышки соединений, не использованных при получении данных зависимостей, и сравнивая расчетные значения со справочными (табл. 3).

Установлено, что средняя абсолютная погрешность расчета не превышает 10 °С, следовательно, результаты прогнозирования можно считать удов-

летворительными. Таким образом, данные по молекулярным дескрипторам применимы для прогнозирования пожароопасных свойств органических соединений, в частности температуры вспышки.

Полученные результаты существенно дополняют и расширяют возможности дескрипторного метода в прогнозировании пожароопасности веществ и могут быть полезны при оценке рисков на предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; ч. II. — 774 с.
2. Земский Г. Т. Физико-химические и огнеопасные свойства органических химических соединений : справочник. В 2 кн. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — Кн. 1. — 502 с.; кн. 2. — 458 с.
3. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения 01.07–26.07.2014).
4. База данных университета Акрон (Akron). URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (дата обращения 01.07–26.07.2014).
5. Артеменко Н. В., Баскин И. И., Палюлин В. А., Зефирова Н. С. Искусственные нейронные сети и фрагментный подход в прогнозировании физико-химических свойств органических соединений // Изв. РАН, Сер. хим. — 2003. — № 1. — С. 19–28.

6. Baskin I. I., Varnek A. A. Fragment descriptors in SAR/QSAR/QSPR studies, molecular similarity analysis and in virtual screening. — Cambridge : Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening RSC Publisher, 2008. — P. 1–43.
7. Гальберштам Н. М., Баскин И. И., Палюлин В. А., Зефирова Н. С. Нейронные сети как метод поиска зависимостей *структура – свойство* органических соединений // Успехи химии. — 2003. — Т. 72, № 7. — С. 706–727.
8. ГОСТ 12.1.044–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Стандартинформ, 2006. — 100 с.
9. Боридко В. С. Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (химическая технология) : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16 / Моск. гос. академия тонкой хим. пром. — М., 2000. — 107 с.
10. Девдариани Р. О. Новые топологические индексы в количественных соотношениях *“структура – свойство”*: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.03 / МГУ им. Ломоносова. — М., 1992. — 170 с.
11. Баскин И. И. Моделирование свойств химических соединений с использованием искусственных нейронных сетей и фрагментных дескрипторов : автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук: 02.00.17 / МГУ им. Ломоносова. — М., 2009. — 50 с.
12. Skvortsova M. I., Baskin I. I., Skvortsov L. A., Palyulin V. A., Zefirov N. S., Stankevich I. V. Chemical graphs and their basis invariants // Computational and Theoretical Chemistry. — 1999. — Vol. 466, No. 1–3. — P. 211–217.
13. Важев В. В., Алдабергенов М. К., Важева Н. В. Оценка температуры вспышки и молекулярной массы алканов по их ИК-спектрам // Нефтехимия. — 2006. — № 2. — С. 153–156.
14. 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. 31–55.
15. 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.
16. 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.
17. Zhokhova N. I., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov A. N., Zefirov N. S. Fragmental descriptors in QSPR: flash point calculations // Russian Chemical Bulletin. — 2003. — Vol. 52, No. 9. — P. 1885–1892.
18. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н., Облиенко М. В. Прогнозирование пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 1. — С. 70–74.
19. Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В. Оценка пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 18–21.
20. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н. Применение дескрипторов при прогнозировании пожароопасных свойств фармацевтических препаратов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 3. — С. 105–108.
21. Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Калач А. В., Калач Е. В., Пицальников А. В. Влияние структуры молекулы на показатели пожароопасности азотсодержащих органических веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 12–16.

Материал поступил в редакцию 27 июля 2014 г.

English

DESCRIPTOR METHOD IN FORECASTING FIRE HAZARD OF ORGANIC COMPOUNDS

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

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

CHERNIKOVA T. V., Candidate of Chemical Sciences, Associated Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

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

ABSTRACT

Developing of the universal prediction methods of physico-chemical properties of organic compounds is an important task of modern chemistry. From this point of view the descriptors method based on the establishment of dependency of *structure – property* (QSPR) is a promising.

The aim of this work — the possibility of using the descriptor method for predicting the flash point of organic substances belonging to the class of esters, carbonyl and nitrogenous containing compounds. The article also was considered the essence and capabilities of the method QSPR and presents a classification descriptors.

Molecular structure of the investigated compounds was described by topological indices of Wiener and Randic, by gravitational indexes and the surface area of the molecule. As a result of studies of correlations between the flashpoint of substances and values of descriptors the approximation equation were derived.

Validation of the equations was shown that the average deviation of the calculated and experimental data does not exceed 10 °C. Thus the descriptor method may be used to predict the flash point of organic compounds.

Keywords: descriptor; prediction; fire hazard properties; flash point; organic compounds.

REFERENCES

1. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik v 2 ch.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of extinguishing. Handbook in two parts]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.; part II, 774 p.
2. Zemskiy G. T. *Fiziko-khimicheskiye i ogneopasnyye svoystva organicheskikh khimicheskikh soyedineniy: spravochnik v 2 knigakh* [Physico-chemical and flammable properties of organic chemical compounds. Handbook in two books]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. Book 1, 502 p.; book 2, 458 p.
3. *Sigma-Aldrich database*. Available at: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (Accessed 1–26 July 2014).
4. *Akron University Database*. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (Accessed 1–26 July 2014).
5. Artemenko N. V., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov N. S. Iskusstvennyye neyronnyye seti i fragmentnyy podkhod v prognozirovaniy fiziko-khimicheskikh svoystv organicheskikh soyedineniy [Artificial neural networks and a fragment approach in predicting physico-chemical properties of organic compounds]. *Izvestiya RAN, Seriya khimicheskaya — Russian Chemical Bulletin*, 2003, no. 1, pp. 19–28.
6. Baskin I. I., Varnek A. A. *Fragment descriptors in SAR/QSAR/QSPR studies, molecular similarity analysis and in virtual screening*. Cambridge, Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening RSC Publisher, 2008, pp. 1–43.
7. Galbershtam N. M., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov N. S. Neyronnyye seti kak metod poiska zavisimostey struktura – svoystvo organicheskikh soyedineniy [Neural networks as a method of search the dependency of structure – property of organic compounds]. *Uspekhi khimii — Russian Chemical Reviews*, 2003, vol. 72, no. 7, pp. 706–727.
8. *Interstate 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, Standartinform Publ., 2006. 100 p. (in Russian).

9. Boridko V. S. *Primeneniye vychislitelnoy tekhniki, matematicheskogo modelirovaniya i matematicheskikh metodov v nauchnykh issledovaniyakh (khimicheskaya tekhnologiya)*. Dis. kand. tekhn. nauk [The use of computer technology, mathematical modeling and mathematical methods in scientific research (chemical technology). Cand. techn. sci. diss.]. Moscow, 2000. 107 p.
10. Devdariani R. O. *Novyye topologicheskiye indeksy v kolichestvennykh sootnosheniyakh "struktura – svoystvo"*. Dis. kand. tekhn. nauk [New topological indices in the quantitative proportions of "structure – property". Cand. techn. sci. diss.]. Moscow, 1992. 170 p.
11. Baskin I. I. *Modelirovaniye svoystv khimicheskikh soyedineniy s ispolzovaniyem iskusstvennykh neyronnykh setey i fragmentnykh deskriptorov*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Modeling properties of chemical compounds using artificial neural networks and fragment descriptors. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2009. 50 p.
12. Skvortsova M. I., Baskin I. I., Skvortsov L. A., Palyulin V. A., Zefirov N. S., Stankevich I. V. Chemical graphs and their basis invariants. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1999, vol. 466, no. 1–3, pp. 211–217.
13. Vazhev V. V., Aldabergenov M. K., Vazheva N. V. *Otsenka temperatury vspyshki i molekulyarnoy massy alkanov po ikh IK-spektram* [Rating of flash-point and molecular weight of alkanes by their IR spectra]. *Neftekhimiya — Petroleum Chemistry*, 2006, no. 2, pp. 153–156.
14. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. *Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniym. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1)* [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (Part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–55.
15. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. *Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniym. II. Ketony (Chast 1)* [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. II. Ketones (Part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
16. Alekseev S. G., Barbin N. M., Alekseev K. S., Orlov S. A. *Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniym. III. Ketony (Chast 2)* [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. III. Ketones (Part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
17. Zhokhova N. I., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov A. N., Zefirov N. S. Fragmental descriptors in QSPR: flash point calculations. *Russian Chemical Bulletin*, 2003, vol. 52, no. 9, pp. 1885–1892.
18. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Oblienko M. V. *Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniym deskriptorov* [Prediction of fire hazard properties organic compounds using descriptors]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 1, pp. 70–74.
19. Kalach A. V., Sorokina Yu. N., Kartashova T. V., Spichkin Yu. V. *Otsenka pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniym deskriptorov* [Evaluation of the fire hazards properties of organic compounds by using descriptors]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 18–21.
20. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N. *Primeneniye deskriptorov pri prognozirovanii pozharoopasnykh svoystv farmatsevticheskikh preparatov* [Application of descriptors in predicting of fire hazard of pharmaceuticals]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 3, pp. 105–108.
21. Sorokina Yu. N., Chernikova T. V., Kalach A. V., Kalach E. V., Pishchalnikov A. V. *Vliyaniye struktury molekuly na pokazateli pozharoopasnosti azotsoderzhashchikh organicheskikh veshchestv* [Effect of structure of the molecule on parameters of fire hazard of nitrogen-containing organic substances]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 12–16.

А. В. КИПЕР, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Защита в чрезвычайных ситуациях”, ФГБОУ ВПО “Калининградский государственный технический университет”, Федеральное агентство по рыболовству (Россия, 236000, г. Калининград, Советский просп., 1; e-mail: kiper.aleksandr@yandex.ru)

Т. С. СТАНКЕВИЧ, старший преподаватель кафедры “Защита в чрезвычайных ситуациях”, ФГБОУ ВПО “Калининградский государственный технический университет”, Федеральное агентство по рыболовству (Россия, 236000, Калининград, Советский просп., 1; e-mail: nadezdastan39@mail.ru)

УДК 656.612:614.84:004.896

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Рассмотрены особенности разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений, предназначенной для руководителя тушения пожара в морском порту. Для решения задачи прогнозирования динамики распространения пожара предложен подход, основанный на разработке и применении интеллектуальной системы поддержки принятия решений на базе нечетких нейронных сетей ANFIS. Предложены алгоритмы поддержки принятия решений с использованием математических моделей прогнозирования: площади пожара; площади тушения пожара; плотности теплового излучения в помещении; высоты расположения нейтральной зоны в помещении. Выполнено тестирование разработанной интеллектуальной системы поддержки принятия решений, предназначенной для руководителя тушения пожара, на тестовой и обучающей выборке. Дана оценка предполагаемого экономического эффекта от внедрения интеллектуальной системы поддержки принятия решений в деятельность руководителей тушения пожара.

Ключевые слова: интеллектуальная система поддержки принятия решения; руководитель тушения пожара; развитие пожара; тушение пожара; прогнозирование; математическая модель; нечеткие нейронные сети; сети ANFIS.

Введение

Бурное развитие морских перевозок повышает актуальность проблемы обеспечения пожарной безопасности на таких объектах транспортного комплекса, как морские порты. Морской порт представляет собой сложную систему, включающую объекты инфраструктуры, размещенные на специально отведенных территориях и в акваториях и предназначенные для обслуживания судов и пассажиров, осуществления операций с грузами и других услуг, обычно оказываемых в морском порту, а также для взаимодействия с другими видами транспорта [1]. Поскольку в портах сосредоточено большое количество потенциальных источников возникновения чрезвычайных ситуаций, их принято относить к особо опасным техническим объектам [2]. В Российской Федерации уровень безопасной эксплуатации портов оценивается как недостаточный, а в отдельных случаях — как опасный [3], что значительно повышает вероятность возникновения таких чрезвычайных ситуаций, как пожар.

Эффективность действий руководителя тушения пожара (РТП), направленных на спасение людей и тушение пожара в кратчайшие сроки, определяется своевременным и эффективным управлением личным составом пожарных подразделений и применением пожарной и аварийно-спасательной техники, огнетушащих веществ, инструмента и оборудования, средств связи и иных технических средств [4].

На качество решения управленческих задач РТП влияют:

- личностные факторы, определяемые своеобразием психических процессов, состояний и свойств личности руководителя (опыт, социально-психологические и индивидуально-типологические черты личности и др.);
- ситуационные факторы — конкретные обстоятельства, в которых принимается управленческое решение и которые влияют на разработку, оценку, выбор и реализацию альтернатив (поступающая к РТП информация характеризуется неполнотой, неточностью и т. п.).

Анализ статистических данных показывает, что управленческие решения РПТ, принимаемые под воздействием личностных и ситуационных факторов, зачастую не соответствуют обстановке на горящем объекте [5]: малоэффективные решения составляют до 57 % от их общего количества. Причем, если воздействие личностных факторов можно снизить путем организации соответствующей подготовки руководителей, то управление ситуационными факторами не представляется возможным.

Обобщая вышесказанное, можно констатировать, что в условиях неопределенности исходной информации повышение эффективности управленческих решений РПТ при тушении пожара в морском порту является *актуальной научной задачей*.

В последние десятилетия для решения различных управленческих задач в условиях неопределенности информации все чаще используется новое программно-алгоритмическое обеспечение — интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР), обладающие новыми существенными возможностями. Для решения с высокой эффективностью управленческих задач, возникающих при тушении пожара в морском порту, в условиях неопределенности информации и недостатка временных ресурсов на основании впервые представленных в [6] результатов была обоснована целесообразность использования в ИСППР элементов искусственного интеллекта — сетей ANFIS. Согласно [7] данный тип сетей является высокоэффективным для решения задач прогнозирования. Такие системы способны моделировать развитие обстановки на пожаре, и по результатам моделирования руководитель выбирает стратегию и корректирует план тушения пожара.

При разработке ИСППР деятельность РПТ рассматривалась как определенная совокупность его существенных решений в требуемый момент времени, обеспечивающих успешное тушение пожара. В результате анализа этой деятельности были определены составляющие ее решения:

- решение о площади пожара (ПП);
- решение о площади тушения пожара (ПТП);
- решение о распространении основных поражающих факторов пожара в помещении — плотности теплового излучения и высоты расположения нейтральной зоны, характеризующей степень задымления.

Математическая модель прогнозирования параметров пожара в здании

Математическое моделирование прогнозирования параметров пожара в здании выполнялось на основе математического аппарата нечеткой логики

и нейронных сетей. Используемая для этого сеть ANFIS обладает способностью выявлять значимые признаки и скрытые закономерности в анализируемых экспертных данных для последующего формирования базы правил системы. Структура сети, представленная на рис. 1, реализует систему нечеткого вывода Сугено в виде пятислойной нейронной сети прямого распространения сигнала [8], где:

- $x_1, x_2, \dots, x_n$ — входы сети;
- $\mu_{(x_1)}^{(1)}, \mu_{(x_2)}^{(2)}, \dots, \mu_{(x_N)}^{(M)}$ — значение функции принадлежности;
- $w_1, w_2, \dots, w_M$ — степень выполнения нечеткого правила;
- $w_1^*, w_2^*, \dots, w_M^*$ — относительная степень выполнения нечеткого правила;
- $y_1(x), y_2(x), \dots, y_M(x)$ — вклад одного нечеткого правила в выход сети;
- $y(x)$ — выход сети.

Настройка сети ANFIS возможна путем применения алгоритма обратного распространения ошибки или алгоритма гибридного обучения, являющегося комбинацией метода наименьших квадратов и метода обратного распространения ошибки [9].

В процессе настройки сети выполняется оценка погрешности результата. Для этого строится функция ошибки, представляющая собой среднеквадратическое отклонение фактического значения выходной переменной от точечной оценки, полученное на основе нечеткого вывода по формуле [8]:

$$E(a, b, p, q, r) = \frac{1}{n} \sum_i (\psi(\Lambda_i) - \bar{\psi}(\Lambda_i))^2 \rightarrow \min_{a, b, p, q, r} i \in [1; N], \quad (1)$$

где $E(a, b, p, q, r)$ — функция ошибки;
 a, b — параметры функций принадлежности 1-го слоя сети;
 p, q, r, z — параметры 4-го слоя сети;
 $\psi(\Lambda_i)$ — фактическое значение выходной переменной;
 $\bar{\psi}(\Lambda_i)$ — значение точечной оценки на основе нечеткого вывода;
 n — номер итерации;
 N — количество итераций.

Математическая модель прогнозирования площади пожара в здании

Блок-схема алгоритма прогнозирования распространения пожара в здании на базе сети ANFIS (рис. 2) включает восемь блоков:

1) блок ввода входных параметров — информативных признаков объекта $x_1, x_2, \dots, x_n$; площади помещения, где произошел пожар, m^2 ; предела огнестойкости строительных конструкций, мин; линей-

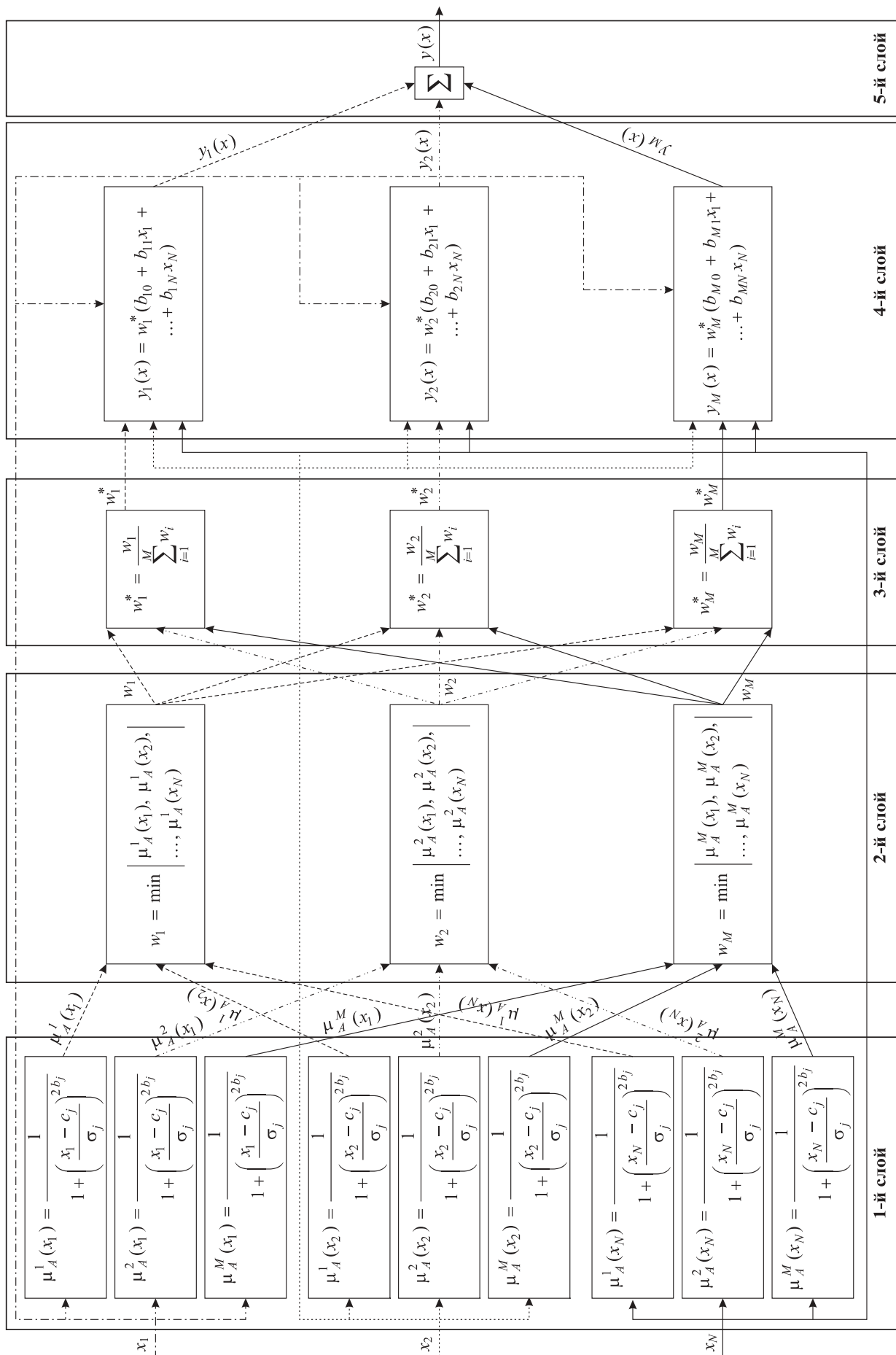


Рис. 1. Структура сети ANFIS

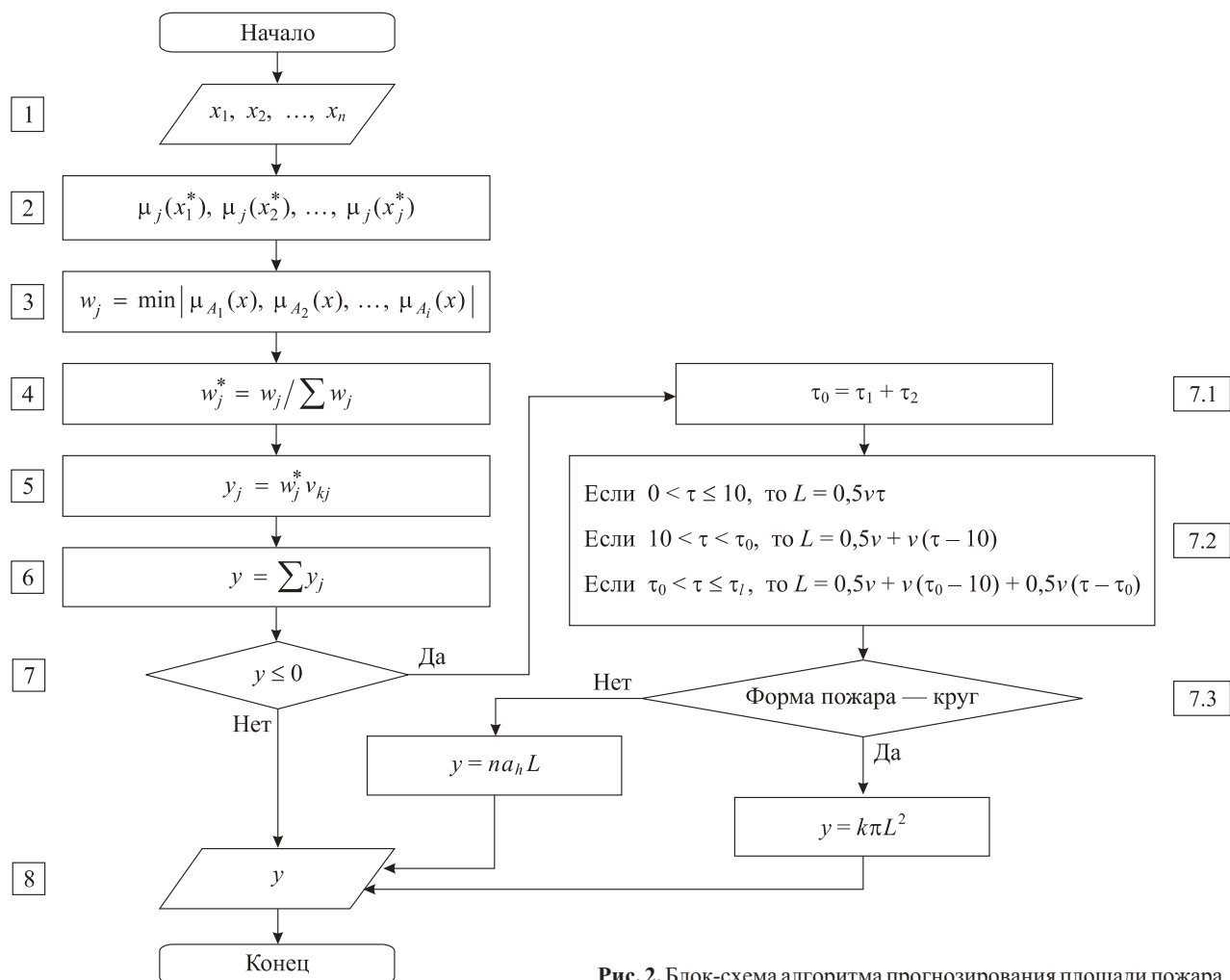


Рис. 2. Блок-схема алгоритма прогнозирования площади пожара

ной скорости распространения горения, м/мин; времени развития пожара, мин;

2) блок определения значений функции принадлежности $\mu_{A_i}(x)$ при конкретных значениях входов $x_1, x_2, \dots, x_n$, где A_i — нечеткая переменная, ассоциированная с данным узлом;

3) блок установления степени истинности antecedентов (характеристик предшествовавших событий) каждого j -го правила базы знаний системы путем выполнения нечеткой логической операции “и” (“min”) на параметрах antecedентов правил по формуле

$$w_j = \min |\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_i}(x)|, \quad (2)$$

где w_j — степень истинности antecedентов каждого j -го правила базы правил;

$\mu_{A_i}(x)$ — значение функции принадлежности при значениях входов $x_1, x_2, \dots, x_n$;

4) блок расчета относительной степени выполнения нечеткого правила с использованием формулы

$$w_j^* = w_j / \sum w_j, \quad (3)$$

где w_j^* — относительная степень выполнения j -го нечеткого правила;

$\sum w_j$ — сумма всех степеней истинности посылок каждого j -го правила базы правил;

5) блок расчета вклада каждого нечеткого правила в выход сети по формуле

$$y_j = w_j^* v_{kj}, \quad (4)$$

где y_j — вклад каждого нечеткого правила в выход сети;

v_{kj} — четкое число, задающее заключение каждого j -го правила;

6) блок определения выходного значения сети — прогнозируемой ПП по формуле

$$y = \sum y_j, \quad (5)$$

где y — прогнозируемая площадь пожара;

$\sum y_j$ — суммарный вклад всех нечетких правил в выход сети;

7) блок устранения логических ошибок: в случае получения отрицательного либо нулевого результата — прогнозируемой ПП:

а) расчет времени свободного развития пожара τ_0 (с момента его возникновения до введения на тушение первых стволов) выполняется по формуле [10]:

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2, \quad (6)$$

где τ_1 — время с момента возникновения пожара до сообщения о нем в пожарную охрану, мин;

τ_2 — время боевого развертывания, мин;
 $\tau_2 = 8$ мин;

б) определение пути L , пройденного огнем за время τ , осуществляется по формулам [10]:

$$\text{если } 0 < \tau \leq 10, \text{ то } L = 0,5v\tau; \quad (7)$$

$$\text{если } 10 < \tau < \tau_0, \text{ то } L = 0,5v + v(\tau - 10); \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &\text{если } \tau_0 < \tau \leq \tau_l, \\ &\text{то } L = 0,5v + v(\tau_0 - 10) + 0,5v(\tau - \tau_0), \end{aligned} \quad (9)$$

где v — линейная скорость распространения горения, м/мин;

τ_l — время, прошедшее с момента возникновения пожара до его локализации, мин;

в) расчет прогнозируемой площади пожара y , м^2 : если форма пожара может быть аппроксимирована кругом, то используется формула (10), если — прямоугольником, то формула (11) [10]:

$$y = k\pi L^2; \quad (10)$$

$$y = na_h L, \quad (11)$$

где k — коэффициент, учитывающий величину угла α , в направлении которого происходит распространение пламени; $k = 1$, если $\alpha = 360^\circ$; $k = 0,5$, если $\alpha = 180^\circ$; $k = 0,25$, если $\alpha = 90^\circ$; n — число направлений развития пожара; a_h — ширина площади пожара (здания, помещения), м;

8) блок вывода результатов.

Математическая модель прогнозирования площади тушения пожара в здании

Блок-схема алгоритма прогнозирования ПТП в здании, расположенном в морском порту, на базе сети ANFIS (рис. 3) включает также восемь блоков:

1) блок ввода входных параметров — информативных признаков объекта $x_1, x_2, \dots, x_n$: площади помещения, где произошел пожар, м^2 ; предела огнестойкости строительных конструкций, мин; линейной скорости распространения горения, м/мин; времени развития пожара, мин; площади пожара, м^2 ;

2–6) блоки обработки информации, соответствующие блокам 2–6 алгоритма прогнозирования распространения пожара;

7) блок устранения логических ошибок: в случае получения отрицательного либо нулевого результата — прогнозируемой площади тушения; если форма пожара может быть аппроксимирована кругом,

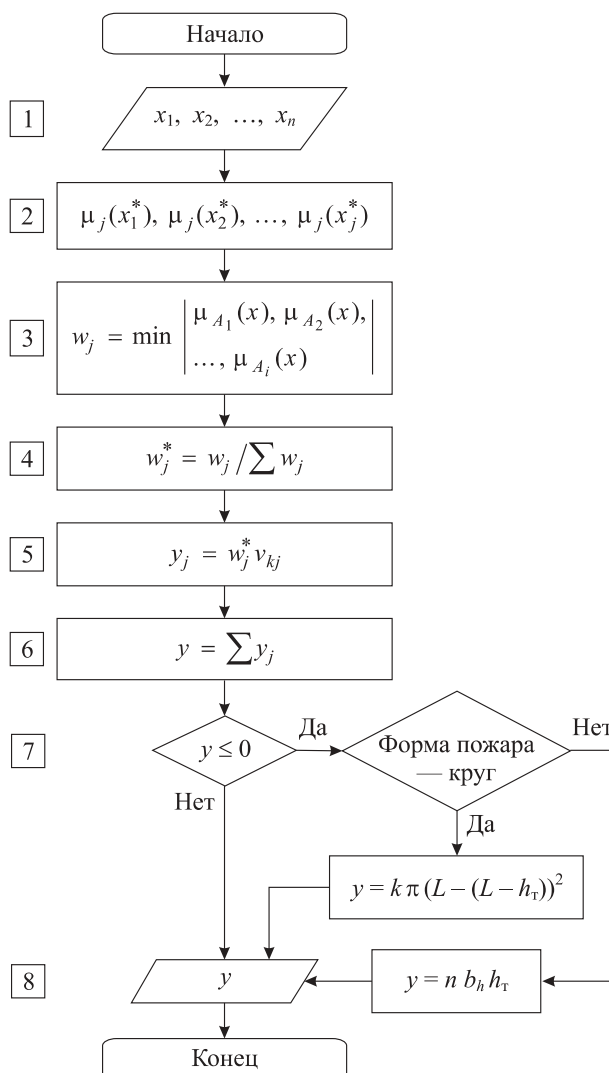


Рис. 3. Блок-схема алгоритма прогнозирования площади тушения пожара

то для расчета используется формула (12), если — прямоугольником, то формула (13) [11]:

$$y = k\pi(L - (L - h_t))^2; \quad (12)$$

$$y = n b_h h_t, \quad (13)$$

где h_t — глубина тушения; для ручных стволов $h_t = 5$ м, для лафетных — $h_t = 10$ м;

n — количество направлений введения стволов на путях распространения горения;

b_h — ширина фронта распространения горения, м;

8) блок вывода результатов.

Математическая модель определения плотности теплового потока в помещениях здания

Блок-схема алгоритма прогнозирования плотности теплового потока на базе сети ANFIS (рис. 4) включает восемь блоков:

1) блок ввода входных параметров — информативных признаков объекта $x_1, x_2, \dots, x_n$: линейной

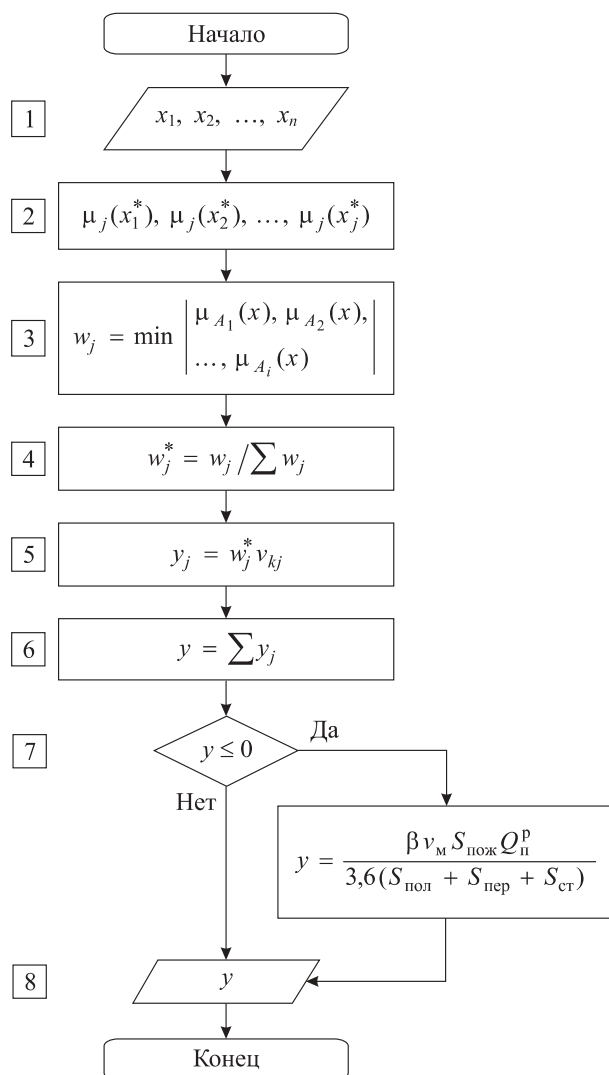


Рис. 4. Блок-схема алгоритма прогнозирования плотности теплового излучения в помещении

скорости распространения горения, м/мин; времени развития пожара, мин; пожарной нагрузки в помещении, МДж/м²; объема помещения, м³; площади поверхности теплообмена в помещении, м²; площади пожара в помещении, м²;

2–6) блоки обработки информации, соответствующие блокам 2–6 алгоритма прогнозирования распространения пожара;

7) блок устранения логических ошибок: в случае получения отрицательного или нулевого результата — прогнозируемой плотности теплового потока расчет выполняется по формуле [11]:

$$y = \frac{\beta v_m S_{\text{пож}} Q_{\text{п}}^p}{3,6(S_{\text{пол}} + S_{\text{пер}} + S_{\text{ст}})}, \quad (14)$$

где y — плотность теплового потока, кВт/м²;
 β — коэффициент химического недожога;
 v_m — массовая скорость выгорания материала, кг/(м²·ч);
 $S_{\text{пож}}$ — площадь пожара в помещении, м²;

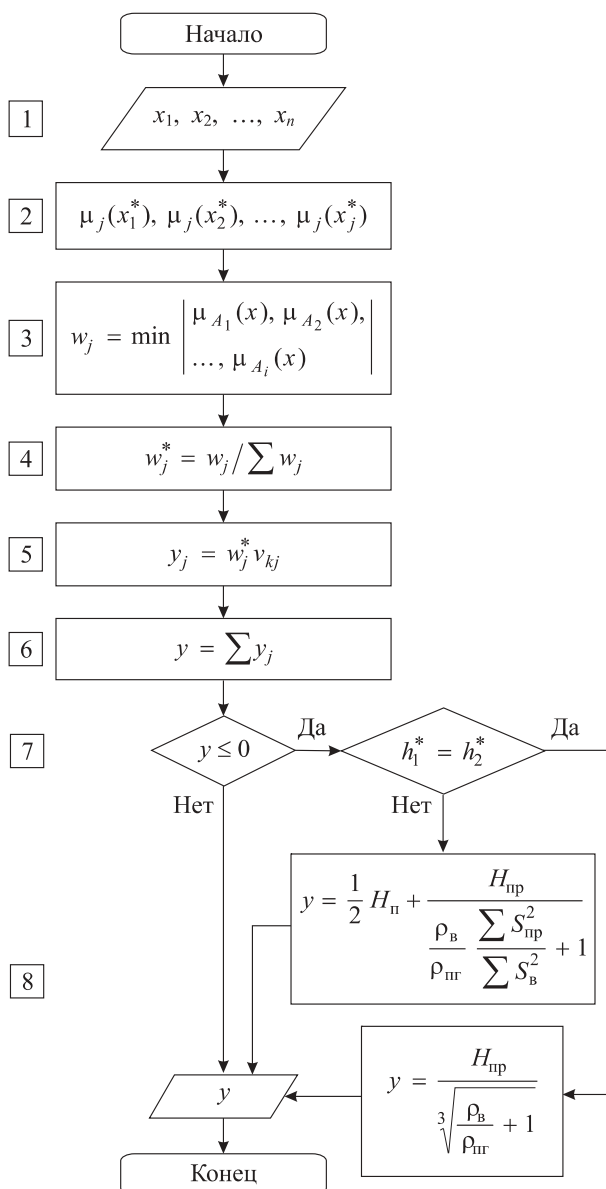


Рис. 5. Блок-схема алгоритма прогнозирования высоты расположения нейтральной зоны в помещении

$Q_{\text{п}}^p$ — низшая массовая теплота сгорания, кДж/кг;
 $S_{\text{пол}}$, $S_{\text{пер}}$, $S_{\text{ст}}$ — площадь соответственно пола, перекрытия и стен помещения, м²;
 8) блок вывода результатов.

Математическая модель определения степени задымления в помещениях здания

Блок-схема алгоритма прогнозирования степени задымления в помещении на базе сети ANFIS (рис. 5) включает восемь блоков:

1) блок входных параметров — информативных признаков объекта $x_1, x_2, \dots, x_n$: линейной скорости распространения горения, м/мин; времени развития пожара, мин; пожарной нагрузки в помещении, МДж/м²; объема помещения, м³; площади пожара в помещении, м²;

2–6) блоки обработки информации, соответствующие блокам 2–6 алгоритма прогнозирования распространения пожара;

7) блок оценки результата: в случае получения отрицательного либо нулевого результата — высоты расположения нейтральной зоны в помещении, которая характеризует степень задымления, расчет выполняется по формулам [11]:

$$\text{если } h_1^* = h_2^*, \text{ то } y = \frac{H_{\text{пр}}}{\sqrt[3]{\rho_{\text{в}}/\rho_{\text{пг}} + 1}}; \quad (15)$$

$$\text{если } h_1^* \neq h_2^*, \text{ то } y = \frac{1}{2} H_{\text{п}} + \frac{H_{\text{пр}}}{\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{пг}}} \frac{\sum S_{\text{пр}}^2}{\sum S_{\text{в}}^2} + 1}, \quad (16)$$

где h_1^* , h_2^* — высота расположения соседних проемов, м;

$H_{\text{пр}}$ — высота наибольшего проема, м;

$\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{пг}}$ — плотность соответственно наружного воздуха и продуктов горения, кг/м³;

$S_{\text{пр}}$, $S_{\text{в}}$ — площадь соответственно приточных и вытяжных отверстий, м²;

$H_{\text{п}}$ — высота приточного отверстия, м;

H — расстояние между центрами приточных и вытяжных отверстий, м;

8) блок вывода результатов.

Программная реализация интеллектуальной системы поддержки принятия решений

Основой для программирования ИСППР являются математические модели (формулы (1)–(16)) и алгоритмы (см. рис. 1–5) процесса принятия решений РТП.

Для разработки системы была выбрана эффективная среда программирования прикладных программ MatLab, как наиболее полно соответствующая следующим требованиям, предъявляемым к ИСППР РТП [12–20]:

- возможность решения разнообразных видов инженерных и математических задач;
- наличие пакета программ Fuzzy Logic, позволяющего строить и обучать искусственные нейронные сети, в том числе нечеткие нейронные сети;
- совместимость с основными компонентами других программных сред компании Microsoft;
- совместимость с различными средами разработки программного обеспечения;
- кроссплатформенность;
- простота разработки приложений;
- высокая скорость выполнения вычислений и др.

При создании графического интерфейса пользователя ИСППР РТП использована интегрированная среда разработки программного обеспечения для

Microsoft Windows на языке программирования Delphi. Поскольку необходимые программные заготовки и программный код содержатся непосредственно в данной среде программирования, это позволило существенно упростить процесс создания графического интерфейса и снизило вероятность случайных программных ошибок.

При оценке погрешности функционирования сети ANFIS посредством ее тестирования на обучающей и тестовой выборке ANFIS-редактором установлено следующее:

- для сети прогнозирования динамики распространения пожара средняя ошибка тестирования (average testing error) на обучающей выборке составила 13,97 м², а на тестовой выборке — 15,3 м²;
- для сети прогнозирования площади тушения пожара средняя ошибка тестирования (average testing error) на обучающей выборке составила 15,4 м², а на тестовой выборке — 16,7 м²;
- для сети прогнозирования плотности теплового потока в помещении средняя ошибка тестирования (average testing error) на обучающей выборке составила 0,07 кВт/м², а на тестовой выборке — 0,15 кВт/м²;
- для сети прогнозирования степени задымления в помещении средняя ошибка тестирования (average testing error) на обучающей выборке составила 0,023 м, а на тестовой выборке — 0,031 м.

В качестве завершающего этапа разработки ИСППР, предназначенной для РТП, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [21].

Оценка экономической эффективности от внедрения ИСППР РТП

При оценке предполагаемого экономического эффекта от внедрения ИСППР использованы методики из [22–25]. Их сущность состоит в сравнении затрат на приобретение и обслуживание ИСППР с предотвращенным экономическим ущербом, полученным в результате применения программы. В качестве примера оценки экономической эффективности ИСППР использовался наиболее вероятный случай возникновения пожара — пожар на складе № 2 ОМТС ОАО “Калининградский морской торговый порт” при следующих условиях:

- стоимость одного программного продукта $C_{\text{пп}} = 100$ тыс. руб.; стоимость необходимого для функционирования системы оборудования $C_{\text{по}} = 25,5$ тыс. руб.;
- в содержании персонала для настройки и обслуживания ИСППР необходимости нет, поэтому затраты на установку программы $C_{\text{м}}$ (тыс. руб.) и затраты на эксплуатацию программы $C_{\text{э1}}$ (тыс. руб.) равны нулю;

- затраты на обеспечение функционирования ИСППР с учетом ее круглосуточной работы в течение первого года $C_{32} = 16$ тыс. руб.;
- дополнительные затраты на эксплуатацию ИСППР составляют до 3 % от всех затрат на эксплуатацию продукта [25] — $C_{33} = 0,5$ тыс. руб.;
- в связи с невозможностью постановки натурного эксперимента использовались решения РТП контрольной и экспериментальной групп при тушении пожара на складе № 2 ОМТС. РТП экспериментальной группы в сравнении с контрольной группой принимали решение быстрее в среднем на 1370 с;
- социально-экономический ущерб, обусловленный поражением людей опасными факторами пожара, принят равным нулю в случае использования ИСППР и при самостоятельном принятии решений РТП;
- урон для окружающей среды в случае использования ИСППР и при самостоятельном принятии решений РТП принят равным 0.

Дальнейшая оценка экономической эффективности внедрения ИСППР выполнена по методике, разработанной на основе [22–25], с учетом принятых начальных условий:

а) общие затраты на приобретение программы и ее эксплуатацию в течение первого года определены по формуле

$$C_3 = C_{пп} + C_{по} + C_m + C_{31} + C_{32} + C_{33} = 100 + 25,5 + 16 + 0,5 = 142, \quad (17)$$

где C_3 — общие затраты на приобретение и эксплуатацию программы, тыс. руб.;

б) величина снижения ущерба от пожара определена по формуле

$$(\Delta\mathcal{E}_3'' - \Delta\mathcal{E}_3) = S_{\text{пож}} C_1 \Delta_t = 346 \cdot 0,3 \cdot 22,8 = 2370,1, \quad (18)$$

где $(\Delta\mathcal{E}_3'' - \Delta\mathcal{E}_3)$ — величина снижения ущерба от пожара, тыс. руб.;

$S_{\text{пож}}$ — площадь пожара, м²;

C_1 — удельное снижение ущерба от пожара на 1 м² объекта при сокращении времени тушения пожара на 1 мин в соответствии с [25], тыс. руб./((м²·мин));

Δ_t — сокращение времени тушения пожара РТП экспериментальной группы в сравнении с контрольной группой, мин;

в) величина снижения затрат на тушение пожара $(\Delta\mathcal{E}_4'' - \Delta\mathcal{E}_4)$, определенная экспертами, составила 15 тыс. руб.;

г) величина снижения косвенного социально-экономического ущерба $(\Delta\mathcal{E}_5'' - \Delta\mathcal{E}_5)$, определенная экспертами, составила 5 тыс. руб.;

д) стоимость сохраненных материальных ценностей C_c (тыс. руб.) в результате использования ИСППР определена по формуле

$$C_c = (\Delta\mathcal{E}_3'' - \Delta\mathcal{E}_3) + (\Delta\mathcal{E}_4'' - \Delta\mathcal{E}_4) + (\Delta\mathcal{E}_5'' - \Delta\mathcal{E}_5); \quad (19)$$

е) прибыль от применения программы в течение первого года использования вычислена по формуле

$$C_{\text{пр}} = C_c K_{\text{п}} - C_3 = (2370,1 + 15 + 5) \cdot 3 - 142 = 7028,3, \quad (20)$$

где $K_{\text{п}}$ — количество пожаров, происшедших в течение года на территории портов в России;

ж) экономическая эффективность внедрения ИСППР определена по формуле

$$C = \gamma \frac{C_{\text{пр}}}{C_3} = 1 \cdot \frac{7028,3}{142} = 49,5, \quad (21)$$

где γ — показатель социального эффекта.

Предполагаемый экономический эффект от внедрения ИСППР только на одном наиболее вероятном пожаре в ОАО “Калининградский морской торговый порт” превышает 7028,3 тыс. руб., т. е. использование ИСППР в процессе тушения пожаров является экономически выгодным.

Заключение

Процесс принятия решения РТП относится к классу трудноформализуемых и слабоструктурированных задач. Данный тип задач более эффективно решается при поддержке интеллектуальной системы, использующей знания опытных экспертов.

Математические модели прогнозирования ПП и ПТП, определения распространения теплового излучения и высоты расположения нейтральной зоны в помещении разработаны на базе сетей ANFIS.

Для разработки ИСППР была выбрана эффективная среда программирования MatLab, как наиболее полно соответствующая требованиям к программным продуктам для РТП.

Оценка погрешности функционирования ИСППР показала лучшие, чем у существующих систем, и приемлемые для практики результаты. Подтвержден экономический эффект от внедрения данной системы.

Новизна работы заключается в том, что впервые авторами:

1) разработаны методы и модели процессов принятия решений РТП при тушении пожара в условиях неопределенности и жесткого дефицита времени;

2) разработана математическая модель прогнозирования параметров пожара в здании как система новых математических моделей процесса принятия решений РТП, содержащая математические модели:

– прогнозирования площади пожара;

- прогнозирования площади тушения пожара;
- прогнозирования плотности теплового излучения в помещениях здания;
- определения степени задымления в помещениях здания;

3) обосновано применение такого эффективного средства искусственного интеллекта, как ИСППР на базе нечетких нейронных сетей ANFIS, для решения сложной многокритериальной задачи про-

гнозирования развития пожара в зданиях, характеризующейся существенной неопределенностью;

4) построена новая интеллектуальная система для поддержки принятия решений РТП при тушении пожара в порту.

Практическая ценность результатов заключается в разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений РТП, обладающей существенной экономической эффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации : Федер. закон от 30.04.99 г. № 81-ФЗ; принят Гос. Думой 31.03.99 г. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158435 (дата обращения: 28.03.2014 г.).
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федер. закон от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ; принят Гос. Думой 22.12.2004 г.; одоб. Сов. Федерации 24.12.2004 г.; введ. 29.12.2004 г. // Российская газета. — 2004. — № 290. URL : <http://www.consultant.ru/popular/gskrf/> (дата обращения: 28.03.2014 г.).
3. О системе обеспечения безопасности судоходства на водном транспорте и роли государственного морского и речного надзора // Материалы государственной службы по надзору в сфере морского и речного транспорта, 2008. URL : <http://council.gov.ru/files/journalsf/item/20090924133814.pdf> (дата обращения: 28.03.2014 г.).
4. Об утверждении Порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны : приказ МЧС РФ от 31.03.2011 г. № 156. URL : <http://base.garant.ru/55171543/> (дата обращения: 28.03.2014 г.).
5. Тетерин И. М., Климовцов В. М., Прус Ю. В. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями // Интернет-журнал “Технологии техносферной безопасности”. — 2008. — № 5 (21). — С. 1–68. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 28.03.2014 г.).
6. Кипер А. В., Станкевич Т. С. Разработка нечеткого классификатора на базе нечеткой системы Сугено для определения ранга пожара на территории морского порта // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. — 2012. — № 2. — С. 18–25.
7. Зайченко Ю. П., Севаев Ф. Исследование эффективности нечеткой нейронной сети ANFIS в задачах макроэкономического прогнозирования // Систем. дослідж. та інформ. технології. — 2005. — № 1. — С. 100–112.
8. Карпенко А. П., Моор Д. А., Мухлисуллина Д. Т. Многокритериальная оптимизация на основе нейро-нечеткой аппроксимации функции предпочтений лица, принимающего решения // Наука и образование: электронное научное издание. Инженерное образование. — 2010. — № 6. — С. 1–21. URL : <http://technomag.edu.ru/doc/135375.html> (дата обращения: 28.03.2014 г.).
9. Мещеряков В. А., Денисов И. В. Моделирование адаптивной системы нейро-нечеткого управления рабочим процессом стрелового крана // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB : матер. V Междунар. науч. конф. — Харьков : БЭТ, 2011. — С. 367–375.
10. Подгруппный А. В., Захаревский Б. Б., Денисов А. Н., Сверчков Ю. М. Методические указания к решению тактических задач по теме “Основы прогнозирования обстановки на пожаре. Локализация и ликвидация пожаров”. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 37 с.
11. Бондаренко М. В., Денисов А. Н., Холошня Н. С., Джангиев Р. Н. Пожаротушение. Методические указания к выполнению курсовой работы. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2011. — 51 с.
12. Себеста Роберт У. Основные концепции языков программирования. — 5-е изд. / Пер. с англ. — М. : ООО “И. Д. Вильямс”, 2001. — 672 с.
13. Эванс Эрик. Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем / Пер. с англ. — М. : ООО “И. Д. Вильямс”, 2011. — 448 с.
14. Бьерн Страуструп. Язык программирования C++: специальное издание / Пер. с англ. — М. : Изд-во “Бином”, 2011. — 1136 с.
15. Фленов М. Е. Библия Delphi. — 3-е изд. — СПб. : БХВ-Петербург, 2011. — 688 с.
16. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. — М. : Горячая Линия – Телеком, 2007. — 288 с.
17. Поршнев С. В. MATLAB 7. Основы работы и программирования. — М. : ООО “Бином-Пресс”, 2011. — 320 с.

18. Фленов М. Е. Библия C#. — 2-е изд. — СПб. : БХВ-Петербург, 2011. — 560 с.
19. Эккель Брюс. Философия Java. — 4-е изд. — СПб. : Питер, 2009. — 640 с.
20. Алексеев Е. Р., Чеснокова О. В., Кучер Т. В. Free Pascal и Lazarus : учебник по программированию. — М. : ALT Linux; Изд. дом ДМК-Пресс, 2010. — 442 с.
21. Свид. 2013610686 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Определитель тактики тушения пожара на территории ОАО “Калининградского морского торгового порта” / Станкевич Т. С., Кипер А. В.; заявитель и правообладатель: ФГБОУ ВПО “БГАРФ”. — № 2013610686; заявл. 21.11.2012 г.; опубл. 09.01.2013 г.; Реестр программ для ЭВМ. — 1 с.
22. РД 03-496–02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах : утв. постановлением Госгортехнадзора от 29.10.2002 г. № 63; введ. 29.10.2002 г. — М. : ГУП “Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России”, 2002. — Сер. 03, вып. 19. — 40 с.
23. Членов А. Н., Буцынская Т. А., Шакирова А. Ф. Оценка экономической эффективности метода поддержки управленческих решений в системе безопасности объекта // Интернет-журнал “Технологии техносферной безопасности”. — 2012. — № 1 (41). — 4 с. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1> (дата обращения: 28.03.2014 г.).
24. Акимов В. А., Кондратьев-Фирсов В. М. Методика оценки социально-экономического ущерба в случае аварийных ситуаций на химически опасных объектах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2009. — № 1. — С. 52–66.
25. Александр Поддубный. Расчет экономического эффекта от внедрения системы автоматизации [Электронный ресурс] // Antegra consulting. URL: http://www.antegra.ru/news/experts/_det-experts/4 (дата обращения: 28.03.2014 г.).

Материал поступил в редакцию 21 апреля 2014 г.

English

ALGORITHMIC SUPPORT OF THE INTELLECTUAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE HEAD OF FIREFIGHTING

KIPER A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Safeguard in Emergency Situations Department, Kaliningrad State Technical University, Federal Agency for Fishery (Sovetskiy Avenue, 1, Kaliningrad, 236000, Russian Federation; e-mail address: kiper.aleksandr@yandex.ru)

STANKEVICH T. S., Lecturer of Safeguard in Emergency Situations Department, Kaliningrad State Technical University, Federal Agency for Fishery (Sovetskiy Avenue, 1, Kaliningrad, 236000, Russian Federation; e-mail address: nadezdastan39@mail.ru)

ABSTRACT

During firefighting real fires the heads of firefighting often take insufficient effective solutions: ineffective solutions are up to 57 % of the total number of decisions. The rational way to increase the efficiency of head decision is the development and application of specialized software — the Intelligent Decision Support System.

The authors have proposed to design and use the Intelligent Decision Support System based on the Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems (ANFIS) for solving the problem of forecasting the dynamics of the spread of fire.

The authors have developed the mathematical model based on network ANFIS: the mathematical model for forecasting of fire area; the mathematical model for forecasting of firefighting area; the mathematical model for forecasting of the thermal radiation density in the room; the mathematical model for forecasting of the neutral zone height in the room.

The authors have carried out testing of this system and have identified:

- 1) the network for forecasting of fire area — the average testing error on the training data was 13.97 m², and on the test sample was 15.3 m²;
- 2) the network for forecasting of firefighting area — the average testing error on the training data was 15.4 m², and on the test sample was 16.7 m²;

3) the network for forecasting of the thermal radiation density in the room — the average testing error on the training data was 0.07 kW/m^2 , and on the test sample was 0.15 kW/m^2 ;

4) the network for forecasting of the neutral zone height in the room — the average testing error on the training data was 0.023 m , and on the test sample was 0.031 m .

As the final stage of development of the Intelligent Decision Support System we obtained the certificate of state registration of software.

The expected cost-effectiveness of the implementation of the Intelligent Decision Support System for the most likely fire in the port area “Kaliningrad Sea Commercial Port” is 7028300 rubles.

The scientific novelty of the research is that the first time:

1) the authors have developed methods and models of decision making of head of the firefighting under uncertainty and lack of time;

2) the authors have developed the mathematical model for forecasting of fire in buildings, which consists of the following mathematical models:

- for forecasting of fire area;
- for forecasting of firefighting area;
- for forecasting of the thermal radiation density in the room;
- for forecasting of the neutral zone height in the room;

3) the authors justified the use of an effective means of artificial intelligence — the Intelligent Decision Support System to solve complex multicriteria problem of forecasting of fire in buildings in conditions of uncertainty;

4) authors have created new Intelligent Decision Support System for the head of firefighting in the seaport.

Keywords: intelligent decision support system; head of firefighting; spread of fire; firefighting; forecasting; mathematical model; fuzzy neural networks; ANFIS.

REFERENCES

1. *Merchant shipping code of the Russian Federation*. Federal Law on 30 April 1999 No. 81. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158435 (Accessed 28 March 2014) (in Russian).
2. *Town-Planning Code of the Russian Federation*. Federal Law on 29 December 2004 No. 190. Available at: <http://www.consultant.ru/popular/gskrf/> (Accessed 28 March 2014) (in Russian).
3. O sisteme obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva na vodnom transporte i roli gosudarstvennogo morskogo i rechnogo nadzora [About safety of navigation on the waterway transport and the role of the state of marine and river inspection]. *Materialy gosudarstvennoy sluzhby po nadzoru v sfere morskogo i rechnogo transporta* [Materials Civil Service for Supervision of Maritime and River Transport]. Available at: <http://council.gov.ru/files/journalsf/item/20090924133814.pdf> (Accessed 28 March 2014).
4. On approving the fire fighting procedure for fire brigades. Order of Emercom of Russia on 31 March 2011 No. 156. Available at: <http://base.garant.ru/55171543/> (Accessed 28 March 2014) (in Russian).
5. Teterin I. M., Klimtsov V. M., Prus Yu. V. Metodologiya razrabotki ekspertnykh sistem dlya operativnogo upravleniya pozhnymi podrazdeleniyami [The methodology for developing expert systems for operational management of firefighting divisions]. *Internet-zhurnal "Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti"* — Internet magazine “Technology Technospheric Safety”, 2008, no. 5 (21), pp. 1–68. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb> (Accessed 28 March 2014).
6. Kiper A. V., Stankevich T. S. Razrabotka nechetkoy klassifikatora na baze nechetkoy sistemy Sugeno dlya opredeleniya ranga pozhara na territorii morskogo porta [Desing of fuzzy classifier for definition of the rank of the fire in the territory on seaport]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika and tekhnologiya* — Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies, 2012, no. 2, pp. 18–25.
7. Zaychenko Yu. P., Sevaee F. Issledovaniye effektivnosti nechetkoy neyronnoy seti ANFIS v zadachakh makroekonomicheskogo prognozirovaniya [Investigation of the efficiency of fuzzy neural network ANFIS in problems of macroeconomic forecasting]. *System. doslzh. ta inform. tekhnologii* — System Research and Information Technologies, 2005, no. 1, pp. 100–112.
8. Karpenko A. P., Moor D. A., Mukhlisullina D. T. Mnogokriterialnaya optimizatsiya na osnove neyro-nechetkoy approksimatsii funktsii predpochteniy litsa, prinyimayushchego resheniya [Multi-criteria optimization based on neuro-fuzzy function approximation to the preferences of the decision maker]. *Nauka and obrazovaniye: elektronnoye nauchnoye izdaniye. Inzhenernoye obrazovaniye* — Science and Education: Electronic Scholarly Edition. Engineering Education, 2010, no. 6, pp. 1–21. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/135375.html> (Accessed 28 March 2014).

9. Meshcheryakov V. A., Denisov I. V. Modelirovaniye adaptivnoy sistemy neyro-nechetkogo upravleniya rabochim protsessom strelovogo krana [Modelling adaptive neuro-fuzzy control of jib crane workflow]. *Proektirovaniye inzhenernykh and nauchnykh prilozheniy v srede MATLAB: materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Design Engineering and Scientific Applications in MATLAB: V International scientific conference]. Kharkov, BET Publ., 2011, pp. 367–375.
10. Podgrushnyy A. V., Zakharevskiy B. B., Denisov A. N., Sverchkov Yu. M. *Metodicheskiye ukazaniya k resheniyu takticheskikh zadach po teme “Osnovy prognozirovaniya obstanovki na pozhare. Lokalizatsiya and likvidatsiya pozharov”* [Methodical instructions to solve tactical problems on “Fundamentals of forecasting fire situation. Localization and liquidation of fires”]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 37 p.
11. Bondarenko M. V., Denisov A. N., Kholoshnya N. S., Dzhangiev R. N. *Pozharotusheniye. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu kursovoy raboty* [Firefighting. Methodical instructions to carry out the course work]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2011. 51 p.
12. Sebesta Robert W. *Concepts of programming languages*. 5th edition. Lebanon, Indiana, U. S. A., Addison-Wesley, 2001. 698 p. (Russ. ed.: Sebesta Robert W. Osnovnyye kontseptsii yazykov programmirovaniya. Moscow, I. D. Vilyams Publ., 2001. 672 p.).
13. Eric Evans, Martin Fowler. *Domain-driven design: Tackling complexity in the heart of software*. Prentice Hall Publ., 2003. 320 p. (Russ. ed.: Evans Eric. Predmetno-oriyentirovannoye proektirovaniye (DDD): strukturizatsiya slozhnykh programmnykh sistem. Moscow, I. D. Vilyams Publ., 2011. 448 p.).
14. Bjarne Stroustrup. *The C++ Programming Language, Special Edition*. 3th ed. United States, Boston, Addison Wesley, 2000. 1040 p. (Russ. ed.: Byerne Straustrup. Yazyk programmirovaniya C++: spetsialnoye izdaniye. Moscow, Binom Publ., 2011. 1136 p.).
15. Flenov M. E. *Bibliya Delphi. 3-e izdaniye* [Bible Delphi. 3th edition]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2011. 688 p.
16. Shtovba S. D. *Proektirovaniye nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems by means of MATLAB]. Moscow, Hot Line – Telecom Publ., 2007. 288 p.
17. Porshnev S. V. *MATLAB 7. Osnovy raboty and programmirovaniya* [MATLAB 7. Fundamentals and Programming]. Moscow, Binom-Press Publ., 2011. 320 p.
18. Flenov M. E. *Bibliya C#. 2-e izdaniye* [Bible C#. 2th edition]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2011. 560 p.
19. Bruce Eckel. *Thinking in Java*. 4th ed. New Jersey, USA, Prentice Hall, 2006. 1079 p. (Russ. ed.: Bruce Eckel. Filosofiya Java. 4-e izdaniye. Saint Petersburg, Piter Publ., 2009. 640 p.).
20. Alekseev E. R., Chesnokova O. V., Kucher T. V. *Free Pascal i Lazarus: uchebnik po programmirovaniyu* [Free Pascal and Lazarus: tutorial programming]. Moscow, ALT Linux Publ., DMK-Press Publ., 2010. 442 p.
21. Stankevich T. S., Kiper A. V. *Opredelitel taktiki tusheniya pozhara na territorii OAO “Kaliningradskogo morskogo torgovogo porta”* [Determinant of the fire fighting tactics on the territory “Kaliningrad Sea Commercial Port”]. Certificate of State Registration of Computer Software, no. 2013610686, 2013.
22. Management Document 03-496–02. Methodical recommendations on accident damage assessment at hazardous production facilities. Moscow, State Unitary Enterprise “Scientific and Technical Center for Industrial Safety Gosgortekhnadzor of Russia” Publ., 2002, series 03, issue 19. 40 p. (in Russian).
23. Chlenov A. N., Butsynskaya T. A., Shakirova A. F. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti metoda podderzhki upravlencheskikh resheniy v sisteme bezopasnosti obyektu [Estimation of economic efficiency of method to support management decisions in the security system of object]. *Internet-zhurnal “Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti” — Internet Magazine “Technology Technospheric Safety”*, 2012, no. 1 (41). 4 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1> (Accessed 28 March 2014).
24. Akimov V. A., Kondratyev-Firsov V. M. Metodika otsenki sotsialno-ekonomicheskogo ushcherba v sluchaye avariynykh situatsiy na khimicheski opasnykh ob'yektakh [Methodology for assessing the socio-economic damage in case of emergencies on chemically hazardous objects]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergencies*. Moscow, VINITI Publ., 2009, no. 1. pp. 52–66.
25. Alexander Poddubnyy. *Raschet ekonomicheskogo effekta ot vnedreniya sistemy avtomatizatsii* [Calculation of economic benefit from the introduction of automation systems]. Available at: http://www.an-tegra.ru/news/experts/_det-experts/4/ (Accessed 28 March 2014).

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

ТХАНЬ ТУНГ ДО, адъюнкт кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, г. Москва, 129366, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.841

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ “ПОДДУВА” ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМ ДЫМОУДАЛЕНИЯ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ

Дан анализ условий прохождения холодного воздуха из-под припотолочного газового слоя через отверстие системы дымоудаления с естественным побуждением (явление “поддува” (plugholing)). Показано, что при одномерном подходе “поддув” происходит, когда число Фруда равно 2 и среднеобъемная температура припотолочного слоя в 2 раза больше температуры холодного воздуха. Выполнено численное исследование термогазодинамической картины пожара в модельном помещении с модельной горючей нагрузкой с использованием трехмерной полевой модели. Показано, что величина расхода, полученная при помощи трехмерной математической модели, существенно меньше, чем при использовании одномерного подхода. Обнаружено, что предложенные в литературе формулы расчета критического расхода газовой смеси через дымоудаляющее отверстие, при котором начинается “поддув”, некорректны для рассматриваемых условий пожара.

Ключевые слова: пожар; дымоудаление; естественная конвекция; поддув; число Фруда; припотолочный слой.

Введение

Эффективность работы систем дымоудаления с естественным побуждением может снижаться из-за явления “поддува” (plugholing) [1–3]. Оно заключается в том, что чистый воздух из-под припотолочного дымового слоя под действием подъемных сил проходит через дымоудаляющее отверстие. При этом уменьшается (вплоть до нулевого значения) расход смеси продуктов горения и частиц дыма, удаляемых из помещения наружу через дымоудаляющие отверстия. Это может привести к скоплению дыма на периферии верхней зоны помещения в местах пребывания людей (например, в атриумах, пассажах и т. д.), поэтому необходимо не допускать возникновения явления “поддува”.

Критические условия перехода расчетного режима работы системы дымоудаления в нерасчетный режим “поддува” исследованы недостаточно полно для создания надежного инженерного метода, позволяющего определить параметры системы дымоудаления (количество, площадь и расположение дымоудаляющих отверстий), исключающие возникновение “поддува”.

Формулы для определения критического расхода системы дымоудаления, при котором появляется “поддув”, получали, как правило, в одномерной постановке задачи при “квазистационарных” услови-

ях пожара (несущественном изменении параметров припотолочного слоя).

В работе рассмотрены условия возникновения “поддува”, корректность использования уже существующих формул для расчета критического расхода, а также снижение эффективности работы системы дымоудаления с естественным побуждением на примере модельного помещения с модельной горючей нагрузкой.

Постановка задачи

Схема припотолочного слоя, образующегося при пожаре в помещении большого объема, представлена на рис. 1. Здесь же показан характерный профиль температуры по высоте помещения вне конвективной колонки.

Из рис. 1 видно, что припотолочный слой состоит из нескольких характерных областей: припотолочной струи (2), потока под припотолочной струей (3) и переходной зоны (4).

Условная нижняя граница припотолочного слоя устанавливается по правилу “ N процентов” [4].

Принимаем следующие основные упрощения термогазодинамической картины в припотолочном слое:

- существует резко выделенная граница между зонами припотолочного слоя и холодного воздуха,

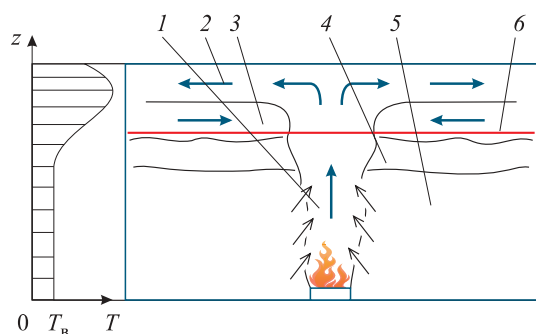


Рис. 1. Схема термогазодинамической картины пожара в помещении: 1 — конвективная колонка; 2 — припотолочная струя; 3 — поток под припотолочной струей; 4 — переходная зона; 5 — холодный воздух; 6 — условная нижняя граница припотолочного слоя

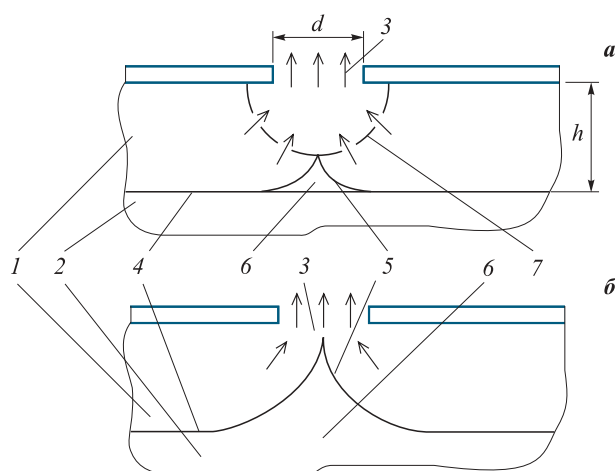


Рис. 2. Упрощенная схема припотолочного слоя в условиях работы системы дымоудаления при расчетном режиме (а) и начале режима “поддува” (б): 1 — припотолочный слой; 2 — холодный воздух; 3 — дымоудалющее отверстие; 4 — нижняя граница припотолочного слоя без дымоудаления; 5 — нижняя граница припотолочного слоя при дымоудалении; 6 — воронка; 7 — полусферическая поверхность; d — приведенный диаметр дымоудалющего отверстия, м; h — толщина припотолочного слоя, м

при переходе через которую термогазодинамические параметры изменяются скачкообразно;

- припотолочный слой является равномерно прогретым и равномерно задымленным.

На рис. 2,а представлена упрощенная схема припотолочного слоя в условиях работы системы дымоудаления, на рис. 2,б — схема течения в момент начала захвата холодного воздуха, находящегося под припотолочным слоем, системой дымоудаления (начало “поддува”).

Существующие формулы расчета критического расхода системы дымоудаления

Существующие формулы расчета критического расхода системы дымоудаления, при котором начинается “поддув”, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Формулы для расчета критического расхода системы дымоудаления

№ п/п	Формула расчета	Источник
1	$G_{кр} = \frac{\beta_o [g h^5 T_B (T_2 - T_B)]^{1/2}}{T_2}$	[2]
2	$G_{кр} = \frac{2,05 \rho_B [g T_B (T_2 - T_B)]^{1/2} h^2 d_3^{1/2}}{T_2}$	[5]
3	$V_{кр} = 4,16 \gamma \left[g h^5 \frac{(T_2 - T_B)}{T_B} \right]^{1/2}$	[3]
4	$V_{кр} = 1,5 \left[g h^5 \frac{(T_2 - T_B)}{T_B} \right]^{1/2}$	[6]
5	$G_{кр} = \frac{1,33 \rho_B [g h^5 T_B (T_2 - T_B)]^{1/2}}{T_2}$	[7]
6	$G_{кр} = \frac{1,7 [g h^5 T_B (T_2 - T_B)]^{1/2}}{T_2}$	[1]
7	$V_{кр} = 2,2 \left[g h^5 \frac{(\rho_B - \rho_2)}{\rho_2} \right]^{1/2}$	[1]

В табл. 1 приняты следующие обозначения: $G_{кр}$ — критический массовый расход системы дымоудаления, кг/с; β_o, γ — коэффициенты, характеризующие расположение вытяжных отверстий; g — ускорение свободного падения, м/с²; T_B — температура холодного воздуха в помещении, К; T_2 — среднееобъемная температура в припотолочном слое, К; ρ_B — плотность холодного воздуха, кг/м³; d_3 — эквивалентный диаметр отверстия, м; $V_{кр}$ — критический объемный расход системы дымоудаления, м³/с.

Условия возникновения “поддува”

При естественной конвекции в одномерном приближении в соответствии с одномерным уравнением Бернулли (координата направлена по высоте помещения) скорость подъема смеси газов и дыма из припотолочного слоя во входном сечении отверстия составляет:

$$w_z = \sqrt{2gh \frac{\rho_B - \rho_2}{\rho_2}}, \quad (1)$$

где w_z — вертикальная проекция скорости во входном сечении отверстия, м/с;

ρ_2 — среднееобъемная плотность смеси газов и дыма в припотолочном слое под отверстием, кг/м³.

При критическом режиме работы в дымоудалющее отверстие начинает поступать воздух из зоны холодного воздуха. В соответствии с одномерным уравнением Бернулли скорость подъема воздуха во входном сечении отверстия, при которой столбик холодного воздуха поднимается на высоту h , определяется как

$$w_{z,кр} = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

где $w_{z,кр}$ — вертикальная критическая скорость во входном сечении отверстия, м/с.

Тогда критическое число Фруда $Fr_{кр}$, при котором существует захват холодного воздуха, при одномерном приближении с учетом выражения (2) составит:

$$Fr_{кр} = w_{z,кр}^2 / (gh) = 2. \quad (3)$$

По теоретическим и экспериментальным данным, приведенным в [3], критическое число Фруда меняется от 1,1 до 2,1, что свидетельствует о влиянии трехмерности течения вблизи отверстия на расход через него.

Найдем температуру, при которой существует течение холодного воздуха через дымоудаляющее отверстие. Для этого выражение (1) с использованием уравнения состояния идеального газа при равенстве давления и газовой постоянной в припотолочном слое и в зоне холодного воздуха приведем к виду:

$$w_z = \sqrt{2gh (T_2 - T_b) / T_b}. \quad (4)$$

Подставляя в число Фруда выражение (4) и используя критическое значение числа Фруда, вычисленное по формуле (3), получим критическое значение среднеобъемной температуры припотолочного слоя:

$$T_{2,кр} = 2T_b. \quad (5)$$

Из равенства (5) видно, что течение холодного воздуха через дымоудаляющее отверстие при естественном побуждении происходит при достаточно высокой температуре припотолочного слоя (например, при $T_b = 293$ К): $T_{2,кр} = 586$ К = 313 °С.

Массовый расход через отверстие при одномерном подходе

$$G = \rho_z w_z F_o, \quad (6)$$

где F_o — площадь дымоудаляющего отверстия, м².

Полевая модель расчета термогазодинамики пожара

Для расчета термогазодинамики пожара используется полевой метод, разработанный автором [8]. Решаются трехмерные нестационарные дифференциальные уравнения Рейнольдса.

Обобщенное дифференциальное уравнение имеет вид [8]:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho \Phi) + \text{div}(\rho w \Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \Phi) + S, \quad (7)$$

где τ — время, с;

ρ — плотность газовой смеси, кг/м³;

Φ — зависимая переменная (энтальпия газовой смеси, проекции скорости на координатные оси,

концентрации компонентов газовой смеси (O_2 , CO , CO_2 , N_2 , продукты газификации горючего материала), оптическая плотность дыма, кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации);

w — скорость газовой смеси, м/с;

Γ — коэффициент диффузии для Φ ;

S — источниковый член.

Лучистый теплоперенос определяется с помощью метода моментов (диффузионная модель). Радиационная составляющая источникового члена S_r в уравнении энергии имеет вид:

$$S_r = -\frac{4\pi}{3} \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right), \quad (8)$$

где I — интенсивность излучения, Вт/м²; находится из решения уравнения

$$\frac{1}{\beta} \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right) = 3\chi (I - I_b); \quad (9)$$

x, y, z — координаты вдоль длины, ширины и высоты помещения соответственно, м;

β — интегральный коэффициент ослабления излучения, м⁻¹;

χ — интегральный коэффициент излучения, м⁻¹;

I_b — интенсивность излучения абсолютно черного тела, Вт/м²; $I_b = \sigma T^4$;

σ — постоянная излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴);

T — температура, К.

Локальные значения коэффициентов излучения и поглощения радиационной энергии определяются с помощью локальных величин оптической плотности дыма [8].

Реакция горения рассматривается как одноступенчатая и необратимая:



где F, O, P — продукты газификации горючего материала, окислитель (кислород воздуха) и продукты реакции соответственно;

s — коэффициент.

Скорость реакции (10) с учетом влияния на нее турбулентности (диффузионно-вихревая модель) определяется по формуле

$$G_r = \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left\{ 4X_{pb}; 4 \frac{X_o}{s}; 2 \frac{X_{pg}}{s+1} \right\}, \quad (11)$$

где G_r — массовая скорость реакции в единице объема газовой среды, кг/(с·м³);

ε — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности, м²/с³;

k — кинетическая энергия турбулентности, м²/с²;

X_{pb} , X_o , X_{pg} — массовая концентрация продуктов горения, кислорода и продуктов газификации горючего материала соответственно.

Начальные и граничные условия подробно приведены в [8].

Уравнения (7) и (9) решаются методом контрольных объемов [9] по явной конечно-разностной схеме на равномерной шахматной сетке.

Исходные данные для численного эксперимента

Рассматривается помещение в форме параллелепипеда размерами $30 \times 25 \times 15$ м.

Свойства горючего вещества (турбинное масло) приняты по типовой базе горючей нагрузки [10]: низшая рабочая теплота сгорания $Q_H^p = 41,9$ МДж/кг; удельный коэффициент выделения оксида углерода $L_{CO} = 0,122$; удельный коэффициент потребления кислорода $L_{O_2} = -2,82$; удельная массовая скорость выгорания $\psi_{уд} = 0,03$ кг/(м²·с).

Размер площади пролива турбинного масла $1,0 \times 1,0$ м.

Мощность горения постоянна по времени $Q_{пож} = 1,257$ МВт.

Размер квадратного отверстия для удаления дыма в потолке $F_o = 1,2 \times 1,2$ м ($d_o = 1,35$ м) или $F_o = 3 \times 3$ м ($d_o = 3,39$ м).

Время включения системы дымоудаления τ_d (открытие отверстия в перекрытии) 0 и 60 с.

Размеры открытой двери $F_d = 1,2 \times 2,0$ м.

Оси симметрии открытой поверхности горючего материала, отверстия для удаления дыма и двери расположены на продольной оси симметрии помещения (рис. 3).

Начальные условия задавались следующими: $T_b = 293$ К; атмосферное давление $p_b = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Результаты численных экспериментов и их анализ

Расчеты выполнялись с использованием программного продукта [11].

В момент включения системы дымоудаления (открытия отверстия в перекрытии) толщина припотолочного слоя под дымоудалющим отверстием при $N = 20$ % (по правилу “ N процентов” [4]) составляет: $h = 0,62$ м при $\tau_d = 10$ с; $h = 1,52$ м при $\tau_d = 60$ с (см. рис. 3, а).

Далее, если время открытия дымоудалющего отверстия не указано, то оно составляет 60 с.

Поля температур в продольном сечении помещения, проходящем через его ось симметрии, через 60 и 150 с (размер отверстия $F_o = 3 \times 3$ м) с момента начала горения представлены на рис. 3 (где x и z — координаты вдоль длины и высоты помещения соответственно, м).

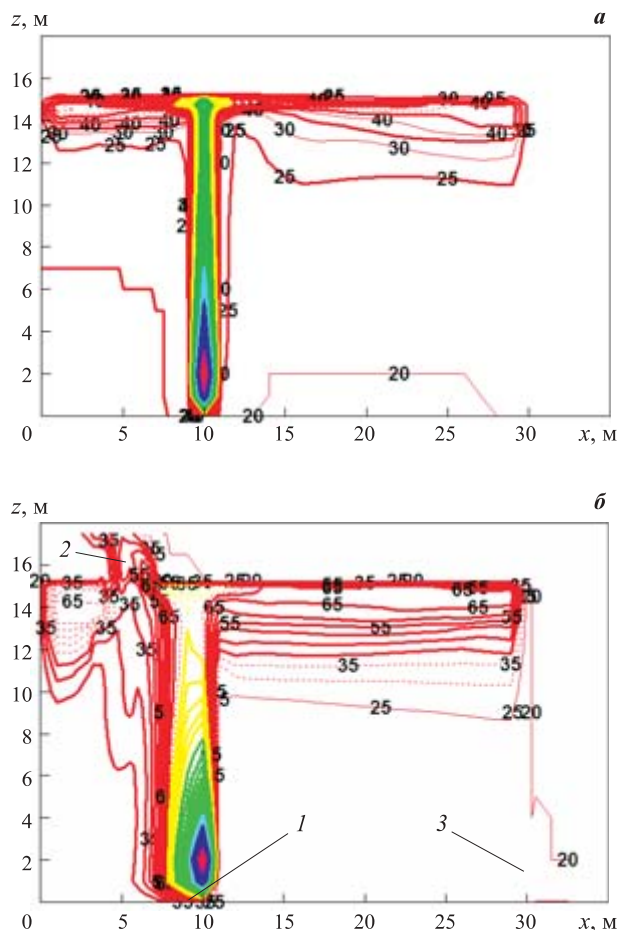


Рис. 3. Поля температур в продольном сечении помещения, проходящем через его ось симметрии, через 60 с (а) и 150 с (б) с момента начала пожара: 1 — открытая поверхность горючего материала; 2 — дымоудалющее отверстие; 3 — открытая дверь

Зависимости массовых расходов, выходящих из помещения через дымоудалющее отверстие наружу после его открытия, приведены на рис. 4.

При одномерном расчете используются два подхода:

- плотность и скорость смеси газов взяты по среднеобъемной температуре припотолочного слоя на момент времени открытия отверстия 60 с (кривая 2);
- плотность и скорость смеси газов взяты по текущей средней температуре в плоскости входного сечения отверстия (кривая 3), определяемой из расчета по трехмерной полевой модели.

Из рис. 4 видно, что учет трехмерности течения приводит к существенному уменьшению массового расхода (кривая 1) по сравнению с одномерным подходом (кривые 2 и 3).

Отношения расходов находятся в следующем диапазоне:

- отверстие $1,2 \times 1,2$ м:

$$G_1/G_2 = 0,65 \div 1,34; \quad G_1/G_3 = 0,56 \div 1,08;$$

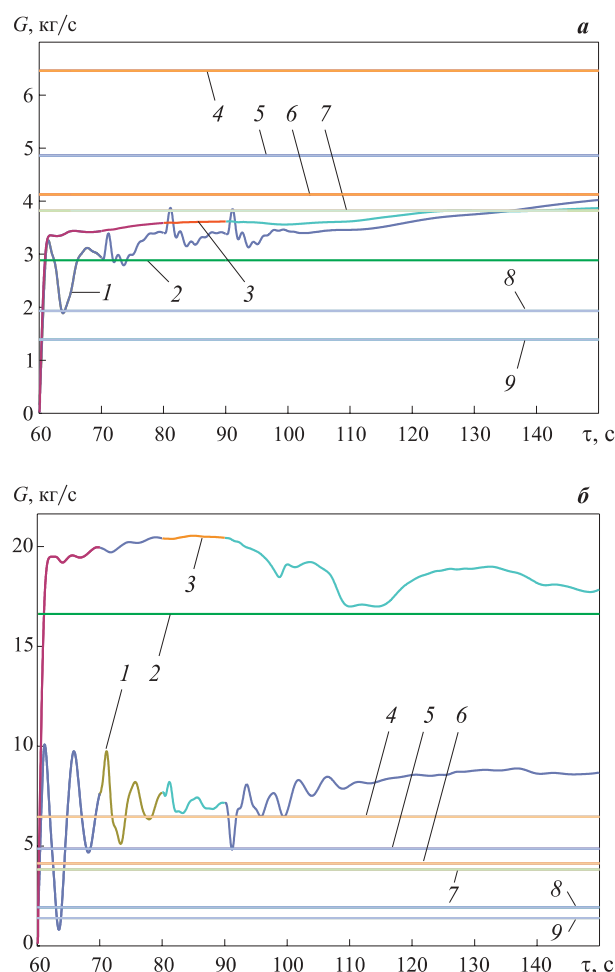


Рис. 4. Зависимости массовых расходов из помещения наружу через дымоудаляющее отверстие размером 1,2×1,2 м (а) или 3×3 м (б), определенные по полевой модели (1), по формуле (6) (2, 3) и по формулам таблицы, поз. 2, 1, 6, 5, 3, 4 (4–9 соответственно): 2 — при плотности и скорости смеси газов, взятых по среднееобъемной температуре припотолочного слоя, на момент времени 60 с; 3 — при плотности и скорости смеси газов, взятых по текущей средней температуре в плоскости входного сечения отверстия; 4–9 — критический расход

- отверстие 3×3 м:

$$G_1/G_2 = 0,05 \div 0,61; \quad G_1/G_3 = 0,04 \div 0,63,$$

где G_1 — массовый расход, полученный с использованием трехмерной полевой модели, кг/с;

G_2, G_3 — массовые расходы, полученные из одномерного расчета при исходных данных для кривых 2 и 3 соответственно, кг/с.

Поля температур в поперечном сечении помещения, проходящем через ось симметрии отверстия, через 90 с с момента начала горения при различных временах включения системы дымоудаления показаны на рис. 5. Из рис. 5 видно, что образуется небольшая воронка, однако нет явления “поддува”. В то же время приведенные в литературе формулы (см. табл. 1) предсказывают начало “поддува” (см. рис. 2,б).

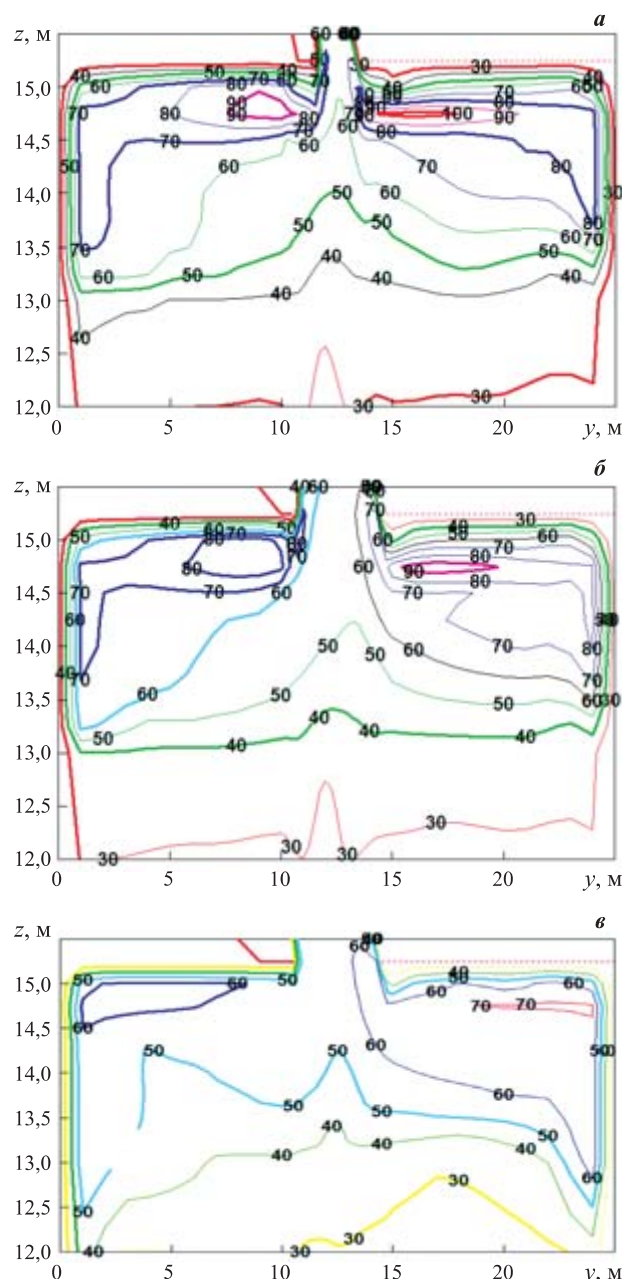


Рис. 5. Поля температур в поперечном сечении помещения, проходящем через ось симметрии отверстия, через 90 с от начала пожара при размере отверстия: а — 1,2×1,2 м ($\tau_d = 60$ с); б — 3×3 м ($\tau_d = 60$ с); в — 3×3 м ($\tau_d = 10$ с)

На отсутствие “поддува” указывает также то, что число Фруда, в которое входит средняя скорость в плоскости входного сечения отверстия, существенно меньше его критического значения (табл. 2).

Таблица 2. Число Фруда на момент времени от начала горения

Размер отверстия $F_0, \text{м}$	Значение числа Фруда на момент времени	
	90 с	150 с
1,2×1,2	0,15	0,22
3,0×3,0	0,05	0,11

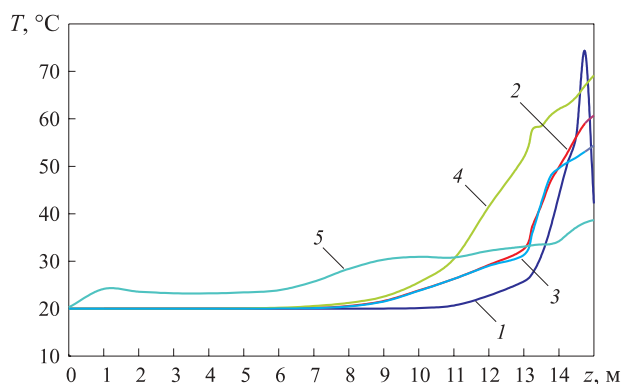


Рис. 6. Распределение температур по вертикальной оси, проходящей через центр дымоудаляющего отверстия, через 60 с от начала пожара перед открытием отверстия (1), через 90 с (2, 3) и через 150 с (4, 5) при размере отверстия 1,2×1,2 м (2, 4) и 3×3 м (3, 5)

Распределения температур по вертикальной оси, проходящей через центр дымоудаляющего отверстия, в различные моменты времени представлены на рис. 6. Из рис. 6 видно, что захват холодного воздуха дымоудаляющим отверстием отсутствует. Однако существующие формулы для расчета критического расхода предсказывают присутствие “поддува” (см. рис. 4, кривые 4–9).

Толщина припотолочного слоя в момент времени открытия отверстия не влияет на возникновение “поддува”. При соотношениях $h < d_3/2$ и $h > d_3/2$ “поддув” не появляется, что видно из рис. 5 (при разных значениях времени τ_d).

Закключение

В случае дымоудаления с естественным побуждением явление “поддува” в соответствии с одномерным подходом начинается, когда число Фруда равно 2 и среднеобъемная температура припотолочного слоя в 2 раза больше температуры холодного воздуха.

Существующие формулы для расчета критического расхода не позволяют предсказать начало “поддува” в рассмотренной модельной задаче.

Величина массового расхода газовой смеси, выходящей из помещения наружу через дымоудаляющее отверстие, полученная с использованием трехмерной математической модели, существенно меньше, чем при одномерном подходе.

Необходимо продолжение исследований с использованием трехмерного подхода для уточнения условий возникновения “поддува” с целью получения формул для расчета критического расхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Viot J., Vauquelin O., Rhodes N. Characterization of the plug-holing phenomenon for the exhausting of a low density gas layer // 14th Australasian Fluid Mechanics Conference. Adelaide University, Adelaide, Australia, 10–14 December, 2001. — P. 529–532.
2. Chow W. K., Li J. Review on design guides for smoke management system in an atrium // Int. J. on Engineering Performance — Based Fire Codes. — 2005. — Vol. 7, No. 2. — P. 65–87.
3. Linjie Li, Zihe Gao, Jie Ji, Jianyun Han, Jinhua Sun. Research on the phenomenon of plug-holing under mechanical smoke exhaust in tunnel fire // 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. Procedia Engineering 62. — 2013. — P. 1112–1120.
4. Chow W. K. Determination of the smoke layer interface height for hot smoke tests in big halls // J. of Fire Sciences. — 2009. — Vol. 27. — P. 125–141.
5. Ghosh B. K. Effect of plugholing in fire smoke ventilation // BRE Client Report CR 50/95. — Garston : BRE, 1995. — 56 p.
6. Cooper L. Y. Smoke and heat venting, SFPE Handbook of fire protection engineering (3rd ed.). — Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, Boston, MA, USA. — 2002. — Chapters 3–9. — 222 p.
7. Tanaka T., Yamada S. Two layer zone smoke transport model // Fire Science and Technology. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 1–44.
8. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
9. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 152 с.
10. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
11. Пузач С. В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара : Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006 г.

Материал поступил в редакцию 28 марта 2014 г.

CONDITIONS OF "PLUGHOLING" IN CASE OF SMOKE EXHAUST SYSTEM OF NATURAL TYPE

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

DO THANH TUNG, Postgraduated Student of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

Efficiency of smoke exhaust system of natural type may be reduced due to the phenomenon of "plugholing", which lies in the fact that the clean air out under ceiling smoke layer due to the action of lift forces passes through the smoke exhaust opening.

The conditions for the emergence of "plugholing" are investigated in the case of a natural impulse to smoke. It is shown that in a case of a one-dimensional approach "plugholing" occurs when the Froude number is 2 and the mean bulk temperature of under ceiling layer 2 times greater than the temperature of cold air. A numerical study of thermal dynamics picture of fire in the model room is made with model combustible load by using a three-dimensional field model.

We consider the room in the form of a parallelepiped with dimensions of 30×25×15 m. Turbine oil is combustible material. Combustion power is constant over time and is 1.257 MW. Hole size for smoke in the ceiling is 1.2×1.2 m or 3×3 m. The dependences on the time of mass flow of the gas mixture coming from inside out through the smoke exhaust opening are obtained. It is shown that the flow rate obtained using a three-dimensional mathematical model, is significantly smaller than when using a one-dimensional approach. It is found that proposed in the literature formulas for calculating critical flow mixture of combustion products and air through the smoke exhaust opening, when "plugholing" begins, are considered invalid for the present fire conditions.

Keywords: fire; smoke exhaust; natural convection; plugholing; Frud number; under ceiling layer.

REFERENCES

1. Viot J., Vauquelin O., Rhodes N. Characterization of the plug-holing phenomenon for the exhausting of a low density gas layer. *14th Australasian Fluid Mechanics Conference*, Adelaide University, Adelaide, Australia, 10–14 December, 2001, pp. 529–532.
2. Chow W. K., Li J. Review on design guides for smoke management system in an atrium. *Int. Journal on Engineering Performance – Based Fire Codes*, 2005, vol. 7, no. 2, pp. 65–87.
3. Linjie Li, Zihe Gao, Jie Ji, Jianyun Han, Jinhua Sun. Research on the phenomenon of plug-holing under mechanical smoke exhaust in tunnel fire. *9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. Procedia Engineering* 62, 2013, pp. 1112–1120.
4. Chow W. K. Determination of the smoke layer interface height for hot smoke tests in big halls. *Journal of Fire Sciences*, 2009, vol. 27, pp. 125–141.
5. Ghosh B. K. Effect of plugholing in fire smoke ventilation. *BRE Client Report CR 50/95*, Garston, BRE, 1995. 56 p.
6. Cooper L. Y. *Smoke and heat venting, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.). Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, Boston, MA, USA, 2002, chapters 3–9. 222 p.
7. Tanaka T., Yamada S. Two layer zone smoke transport model. *Fire Science and Technology*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 1–44.
8. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.
9. Patankar S. *Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti* [Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics]. Moscow, Energoatomizdat, 1984. 152 p.
10. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Prediction of fire dynamics factors in the room]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000. 118 p.
11. Puzach S. V. *Integralnyye, zonnyye i polevyye metody rascheta dinamiki opasnykh faktorov pozhara* [Integral, zone and field methods for calculating the dynamics of fire hazards]. Certificate of official registration no. 2006614238 in the Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks from 08.12.2006.

Т. С. МАРКОВА, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mar-tiny@mail.ru)

А. А. ТАРАНЦЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: t_54@mail.ru)

УДК 614.8.084

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЗООЛОГИЧЕСКИХ ПАРКАХ МЕГАПОЛИСОВ

Рассмотрены вопросы, связанные с изучением систем обеспечения безопасности в зоологических парках, планировками крупнейших зоологических парков РФ и зарубежных стран, с пожарами в некоторых зоопарках, а также меры по обеспечению безопасности людей и обитателей зоопарков в случае пожаров и других ЧС. Показано, что решение вопросов обеспечения безопасности посетителей и обитателей зоопарков при пожарах и других ЧС может иметь огромное значение, так как это одно из главных требований к функционированию зоопарка. Показано, что оценка эффективности систем безопасности в зоологических парках позволит повысить степень защищенности их посетителей, сотрудников и обитателей.

Ключевые слова: зоологический парк; пожарная безопасность; системы жизнеобеспечения.

Современные зоологические парки как компонент культурной жизни мегаполисов

Зоологические парки (зоопарки) по праву являются важнейшей достопримечательностью и гордостью многих крупных городов и даже стран (рис. 1) [1]. Их ежедневно посещают миллионы людей, большую часть из которых составляют дети.

В основу функционирования зоопарка закладываются современные технологии содержания и экспонирования животных, способные обеспечить зрелищность экспозиций и высокий уровень обслуживания населения, а также возможность проведения различных исследовательски-практических работ по природоохранной тематике.

Функционально-технологическую структуру современного зоопарка определяют следующие виды деятельности на его территории:

- 1) *экспозиционно-выставочная*: постоянные экспозиции обитателей зоопарка; сезонные выставки животных и растений; ландшафтно-ботаническая экспозиция; выставки анималистического искусства;
- 2) *научно-образовательная*: разведение редких видов животных, рептилий, птиц в рамках существующих международных и собственных исследовательских программ зоопарка; организация работы школьных экологических и зоологических кружков; организация совместной работы с департаментом образования в части проведения плановых тематических уроков биологии, природоведения для

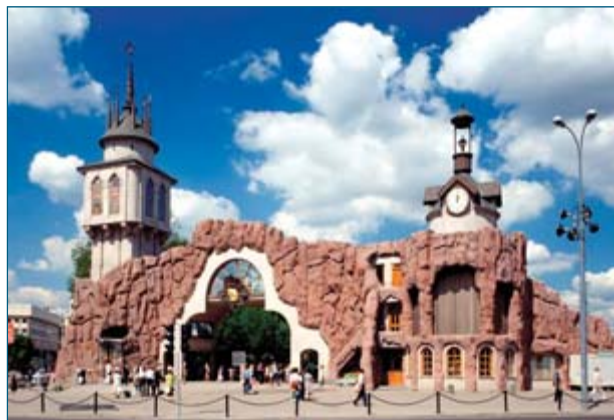
школьников, а также практических занятий для учащихся вузов и специализированных учебных заведений;

- 3) *рекреационно-развлекательная*: интерактивные экспозиции; проведение программных зрелищных мероприятий; блок развлечений для детей младшего и среднего возраста; инфраструктурный блок общественного питания и торговли;
- 4) *административно-хозяйственная*: система административного руководства; комплекс хозяйственно-технического обеспечения; ветеринарная и санитарная службы; садовопарковая служба; отдел приготовления и хранения кормов; коммерческо-финансовая служба.

Типовые здания и сооружения зоопарка представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2, современные зоопарки являются сложным биотехническим комплексом, имеющим сложную структуру, и должны отвечать современным требованиям обеспечения комплексной безопасности.

Системы жизнеобеспечения зоопарков

Система жизнеобеспечения биологического объекта — совокупность технических устройств, веществ и материалов, обеспечивающих поддержание энергомассообмена организма биологического объекта со средой обитания на уровне, необходимом для сохранения его жизни, а у животных — и способности осуществлять условно-рефлекторные действия [2]. В табл. 1 представлены основные систе-



Московский зоопарк



Зоопарк Рануа (Финляндия)



Зоопарк Санкт-Петербурга



Зоопарк Чианг Май (Тайланд)



Берлинский зоопарк



Зоопарк Тенерифе (Испания)



Пражский зоопарк



Зоопарк Иерусалима

Рис. 1. Крупнейшие зоопарки мира



Рис. 2. Типовые здания и сооружения зоопарка

Таблица 1. Системы жизнеобеспечения зоопарка

Обитатели зоопарка	Системы жизнеобеспечения							
	СИФ	СПП (Ж)	Средства освещения	Средства вентиляции и кондиционирования	СРГС	Средства ассенизации	ИИС	СУУРД
Рыбы		+	+		+	+	+	
Земноводные			+			+		
Беспозвоочные		+			+	+	+	
Рептилии	+	+	+	+/-		+	+	
Млекопитающие:						+	+	
– хищные	+	+				+	+	+
– грызуны		+		+		+	+	
– непарнокопытные	+					+	+	+
– парнокопытные	+					+	+	+
– приматы	+	+				+	+	+
– китообразные				+		+		+
– насекомоядные	+	+				+	+	
Птицы		+			+	+	+	

Примечание. СИФ — средства индивидуальной фиксации животного (технические устройства, ограничивающие свободу передвижения животного).

СПП (Ж) — средства подачи пищи (жидкости) биологическому объекту (технические устройства, обеспечивающие хранение запасов пищи (жидкости) и выдачу ее биологическому объекту).

Средства освещения — технические устройства, обеспечивающие световой режим для биологического объекта.

Средства вентиляции — вентиляция и очистка среды обитания биологического объекта.

СРГС — средства регенерации газовой среды (технические устройства, обеспечивающие восстановление нормативного состава газовой среды обитания биологического объекта).

Средства ассенизации — технические устройства, обеспечивающие сбор и хранение экскрементов животного.

ИИС — информационно-измерительная система (совокупность технических устройств, обеспечивающих получение информации о состоянии биологического объекта по результатам измерения физиологических параметров и о функционировании технических средств системы жизнеобеспечения биологического объекта).

СУУРД — средства управления условно-рефлекторными действиями (технические устройства, стимулирующие условно-рефлекторные действия животного) [2].

мы жизнеобеспечения для различных обитателей зоопарков.

Системами жизнеобеспечения оборудовано каждое помещение зоопарка, в котором находятся животные и присутствуют люди. Цель систем жизнеобеспечения состоит в том, чтобы помещение было пригодным для естественного обитания животных.

Все системы жизнеобеспечения можно разделить на основные и вспомогательные. Основные системы жизнеобеспечения — это водоснабжение и канализация, газоснабжение, система вентиляции, отопление и электроснабжение. Без них нормальная жизнедеятельность человека и обитание животных в зоопарке практически невозможны.

К дополнительным системам жизнеобеспечения относятся, к примеру, система кондиционирования, охранно-пожарная сигнализация и другие системы. Функции систем жизнеобеспечения зоологического парка представлены на рис. 3.

Обеспечение безопасности зоопарков

История многих зоопарков показала их высокую уязвимость в случае возникновения ЧС в результате стихийных бедствий, аварий в промышленности и на транспорте, которые сопровождаются разрушением зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, транспортных средств, гибелью людей и животных, уничтожением материальных ценностей.

Для зоопарков представляют опасность следующие виды техногенных ЧС, вызванные деятельностью человека:

- пожары, взрывы, угроза взрывов;
- аварии на электроэнергетических системах;
- аварии в коммунальных системах жизнеобеспечения;
- гидродинамические аварии (прорывы плотин с образованием прорывного паводка);
- аварии с выбросом биологически опасных веществ.

В свою очередь, чрезвычайными ситуациями природного характера, влияющими на безопасность зоологических парков, являются:

- геологические опасные явления (землетрясения);
- гидрологические опасные явления (высокие уровни вод — наводнения);
- природные пожары;
- инфекционная заболеваемость животных.

В настоящей работе представляется необходимым рассмотреть проблему пожарной безопасности зоопарков, поскольку именно пожары возникают наиболее часто. Печальная статистика пожаров за последнее десятилетие приведена в табл. 2.

Воздействие опасных факторов пожара (ОФП) [3] в виде пламени и искр, повышенного теплового из-

лучения, задымленности, а также обрушение конструкций приводят не только к материальному ущербу, но и к гибели обитателей зоопарка и его сотрудников, к риску для жизни и здоровья посетителей. Особую опасность могут представлять хищные звери, крупные животные и ядовитые змеи, если при пожаре и других ЧС они получают возможность покинуть вольеры, свободно перемещаться по территории зоопарка и за ее пределы — в жилые кварталы и на автомобильные дороги.

Основными причинами возникновения пожаров являются: неосторожное обращение с огнем при проведении ремонтных работ; нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования; нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации электроприборов и проведении электрогазосварочных работ; умышленные действия по уничтожению (повреждению) имущества, нанесению вреда здоровью человека при помощи огня (поджог) [3]. В связи с этим возникает необходимость в том, чтобы зоопарки имели утвержденный проект противопожарных мероприятий, разработанный специализированной организацией [4]. Кроме того, в зоопарках должен быть предусмотрен штатный отдел безопасности и охраны. Основная часть территории зоопарков должна быть оснащена камерами централизованного видеонаблюдения и тревожными кнопками вызова охраны, системой голосового оповещения посетителей. Все здания и сооружения также должны оснащаться централизованной пожарной сигнализацией. Для работы отдела безопасности, камер видеонаблюдения и для повседневной работы зоопарка должны иметь развитую локальную компьютерную сеть на всей территории.

На данный момент к зоопаркам предъявляются стандартные требования в области обеспечения пожарной безопасности, однако данные объекты требуют повышенного внимания. Можно выделить следующие основные проблемы, возникающие при функционировании зоопарков:

- недостаточное обеспечение системами пожарной безопасности (неукомплектованность пожарно-техническим вооружением, отсутствие автоматической пожарной сигнализации, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией);
- нарушение противопожарного режима [5] из-за физического и морального износа зданий и сооружений и несоблюдения правил пожарной безопасности;
- несоответствие электропроводки требованиям ПУЭ [6];
- неисправность систем наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения;

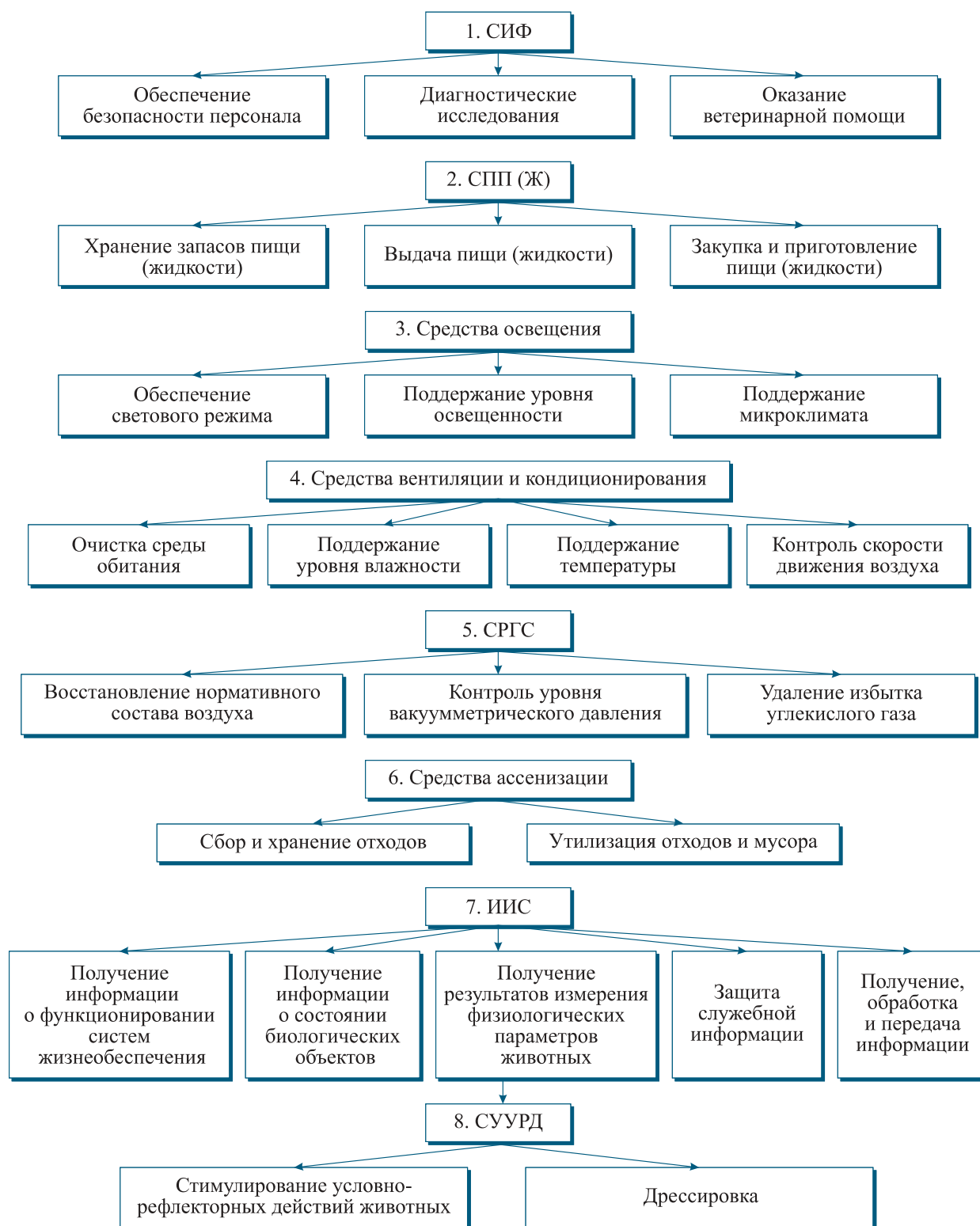


Рис. 3. Системы жизнеобеспечения и их функции

- необеспеченность дежурного персонала средствами индивидуальной защиты органов дыхания и зрения;
- отсутствие у персонала четких инструкций по действиям при возникновении ЧС и низкая готовность к соответствующим действиям из-за редко проводимых учений.

Существует также значительный недостаток в транспортных и переносных клетках, средствах эвакуации и транспортировки животных, транквилизаторах.

Важными условиями обеспечения пожарной безопасности в зоопарках является строгое соблюдение действующих нормативных документов при их

Таблица 2. Сведения о пожарах в зоологических парках

№ п/п	Дата	Страна	Зоопарк	Ущерб	Причина пожара
1	04.05.2004	Россия	Московский зоопарк	Сгорело 30 м ² площади, погиб охранник	Короткое замыкание
2	04.11.2006	США	Парк животных “Гэторлэнд”, Флорида	Погибли 2 питона и 2 крокодила. Разрушен главный вход в парк, фасад, пострадали кипарисы и пальмы	—
3	16.06.2007	Россия	Челябинский зоопарк	Сгорело 4 м ² площади. Серьезно пострадал работник зоопарка	Ремонтные работы
4	10.11.2007	США	Зоопарк Индианополиса	Погибли броненосец, 3 черепахи, 2 птицы, змея. Ущерб 120 тыс. долл.	Возгорание подстилки от лампы накаливания
5	21.03.2008	Россия	Читинский зоопарк	Погибли 2 обезьяны и рыбки	Поджог
6	05.08.2008	Россия	Московский зоопарк	Сгорело 10 м ² подвала	Возгорание скопившегося в подвале мусора
7	04.09.2009	Россия	Московский зоопарк	Сгорел вольер	Ремонтные работы
8	12.06.2010	Россия	Ростовский зоопарк	Сгорело здание бегемотника	—
9	06.11.2010	Россия	Екатеринбургский зоопарк	Сгорели 5 м ² площади, деревянные декорации	Короткое замыкание
10	16.11.2010	Германия	Зоопарк г. Карлсруэ	Погибли 26 животных: африканские карликовые козы, верблюды, шотландские пони и сардинские карликовые ослы. Нанесен ущерб в несколько сотен тысяч евро	Возгорание на пищевом складе
11	27.12.2010	Россия	Цирк “Шапито” в Автово, г. Санкт-Петербург	Погибли порядка 15 видов животных, среди которых обезьяны и змеи	Короткое замыкание
12	07.01.2011	Латвия	Рижский зоопарк	Погибли 3 зебры, 3 страуса и антилопа. Выгорело около 200 м ²	То же
13	17.09.2012	Россия	Сыктывкарский зоопарк	Погибли белка, несколько мышей и беркут. Ущерб около 300 тыс. руб.	“
14	14.04.2013	Шотландия	Эдинбургский зоопарк	Погибли несколько десятков экзотических рептилий и млекопитающих. Сгорела тропическая оранжерея	—
15	07.10.2013	Россия	Передвижной зоопарк, Вологодская обл.	Погибли 2 бурых и 1 гималайский медведи, 1 коза	Короткое замыкание
16	18.01.2014	Россия	Зоопарк г. Комсомольск-на-Амуре	Погибли почти все животные: 115 видов, всего 240 зверей	Неисправность электропроводки (тепловой пушки)
17	11.03.2014	Белоруссия	Минский зоопарк	Погибли 7 животных: 3 ежа обыкновенных, 2 львинохвостые макаки, яванская макака, пятнистая генета	Короткое замыкание
18	21.02.2014	Россия	Ярославский зоопарк	Огнем уничтожен вольер на площади 3 м ² . Погибла малайская пальмовая куница	Неисправность ламп для обогрева

строительстве и реконструкции, а также тщательное составление планов тушения возможных пожаров [7] и проведение совместных учений сотрудников зоопарка, пожарных, спасателей, полиции и медиков.

Как показывает опыт, исключение применения горючих материалов в строительных конструкциях и технологическом оборудовании, использование конструкций с повышенными пределами огнестойкости, скрытая прокладка электрических проводов и другие подобные мероприятия значительно снижают пожарную опасность зоопарков. При возникновении пожара в этих условиях продолжительность горения значительно сокращается, снижается и температурный режим в горящем помещении и тем самым уменьшается риск для обитателей зоопарка, персонала и посетителей.

Вывод

Таким образом, проблема безопасности зоопарков (в том числе пожарной) является актуальной и требует самого пристального внимания на всех этапах функционирования — от проектирования до ликвидации пожаров и последствий ЧС. Важным условием ее решения является совершенствование нормативной базы, разработка инструкций для персонала и экстренных служб города на случай пожара и ЧС, отработка совместных действий персонала зоопарков и экстренных служб, в том числе с учетом нештатного выхода животных из зон их содержания. В связи с этим представляется целесообразным использовать моделирование развития ЧС, в том числе пожаров, работы соответствующих систем зоопарка в этих условиях и совместных действий различных служб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркова Т. С., Таранцев А. А. Проблема обеспечения безопасности в зоологических парках при пожарах и ЧС // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). — 2013. — № 2 (6). — С. 61–68.
2. ГОСТ Р 50382–92. Средства медико-биологического обеспечения жизнедеятельности человека и жизнеобеспечения биологических объектов на специальных объектах. Термины и определения. — Введ. 01.01.94 г. — М. : Изд-во стандартов, 1993.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный 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. — 2012. — № 29, ст. 9.
4. ВППБ 13-01–94. О введении в действие правил пожарной безопасности для учреждений культуры Российской Федерации : приказ Минкультуры РФ от 01.11.94 г. № 736; введ. 01.01.95 г. URL : <http://base.garant.ru> (дата обращения: 16.04.2014 г.).
5. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390; введ. 01.09.2012 г. // Собр. законодательства РФ. — 07.05.2012. — № 19, ст. 2415.
6. Правила устройства электроустановок : утв. приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002 г. № 204; введ. 01.01.2003 г. — Изд. 7-е // Вестник Госэнергонадзора. — 2002. — № 3.
7. Методические рекомендации по составлению планов и карточек тушения пожаров от 27.02.2013 г. № 2-4-87-1-18 : письмо МЧС РФ от 01.03.2013 г. № 43-956-18. URL : <http://docs.cntd.ru/document> (дата обращения: 16.04.2014 г.).

Материал поступил в редакцию 18 апреля 2014 г.

English

SECURITY PROBLEMS IN ZOOS MEGAPOLISES

MARKOVA T. S., Postgraduate Student of Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: mar-tiny@mail.ru)

TARANTSEV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: t_54@mail.ru)

ABSTRACT

The questions related to the study of security systems in zoological parks, zoological parks layouts largest Russian and foreign countries, with fires in some zoos and measures to ensure the safety of people and the inhabitants of zoos in the case of fires and other emergencies were considered.

Practical significance of the work lies in the fact that the issues of security of visitors and inhabitants of the zoo at fires and other emergencies can be of great importance, since the safety of the animals and visitors — one of the main requirements for the operation of the zoo. A zoo is by definition subject to increased risk due to the content of wild predatory animals, large animals like crowded places, but also because of the risk of disease outbreaks.

Evaluating of the effectiveness of security systems in zoological parks would increase the security of visitors, staff and inmates of zoological parks.

Keywords: zoological park; fire safety; life support systems.

REFERENCES

1. Markova T. S., Tarantsev A. A., Problema obespecheniya bezopasnosti v zoologicheskikh parkakh pri pozharakh [The problem of security in zoological parks in fires and emergencies]. *Prirodnyye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty)* — *Natural and Technological Risks (Physics-mathematical and applied aspects)*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 61–68.
2. State Standard 50382–92. Means of medical and biological provision of a person's vital activity and of viability of biological objects at special units. Terms and definitions. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1993 (in Russian).
3. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva* — *Collection of Laws of the Russian Federation*, 2012, no. 29, art. 9 (in Russian).
4. VPPB 13-01–94. On the introduction of the fire safety regulations for cultural institutions of the Russian Federation. Order of the Ministry of Culture on 1 November 1994 No. 736. Available at: <http://base.garant.ru> (Accessed 16 April 2014) (in Russian).
5. Rules of the fire prevention regime in the Russian Federation. *Sobraniye zakonodatelstva* — *Collection of Laws of the Russian Federation*, 2012, no. 19, art. 2415 (in Russian).
6. Regulations for Electrical. 7th edition. Order of the Ministry of Energy on 08.07.2002 No. 204. *Vestnik Gosenergonadzora* — *Herald of Gosenergonadzor*, 2002, no 3 (in Russian).
7. Guidelines on drawing up plans and cards firefighting on 27.02.2013 no. 2-4-87-1-18. Available at: <http://docs.cntd.ru/document> (Accessed 16 April 2014) (in Russian).

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА» ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Л. П. Пилюгин

Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов



Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на взрывоопасных производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

Web-сайт: firepress.ru
Эл. почта: info@fire-smi.ru,
mail@firepress.ru
Тел.: (495) 228-09-03

Пенообразователи

ШТОРМ



Точный расчет на безопасность!

Шторм-М — высокоэффективный пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь специального назначения.

Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы, а также везде, где необходимо за короткое время обеспечить тушение больших площадей с разливом нефти или нефтепродуктов либо предотвратить возгорание горючих жидкостей.



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31
www.gefestnpk.ru
www.shtpena.ru

РЕКЛАМА

В. Р. КОЗУБОВСКИЙ, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, Ужгородский национальный университет Министерства образования и науки Украины (Украина, 88000, г. Ужгород, ул. Подгорная, 46; e-mail: kozub@hotmail.com)

М. В. ФЕДАК, аспирант Ужгородского национального университета Министерства образования и науки Украины (Украина, 88000, г. Ужгород, ул. Подгорная, 46)

УДК 681.5:614.8

БЫТОВЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРИБОРЫ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ИЗВЕЩАТЕЛИ ПОЖАРНЫЕ ГАЗОВЫЕ И ГАЗОСИГНАЛИЗАТОРЫ ЗАГАЗОВАННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ

Рассматриваются вопросы сертификации комбинированных приборов двойного назначения — газосигнализаторов для обнаружения пожаров и определения загазованности помещений. Рассмотрены требования европейских стандартов к конструкции подобных приборов и методам их испытаний. Показано, что действующие стандарты, распространяющиеся на извещатели пожарные газовые и на газосигнализаторы СО, не содержат принципиальных противоречивых требований и их можно унифицировать и применить к описанным в данной статье комбинированным приборам двойного назначения.

Ключевые слова: извещатели пожарные газовые; комбинированные пожарные извещатели; газосигнализаторы; сертификационные испытания; оксид углерода.

В последнее время уделяется большое внимание разработке и серийному производству извещателей пожарных газовых (ИПГ). Приборы подобного типа позволяют обнаружить пожар на ранней стадии его развития. Они надежны, поскольку на их работу не влияют ни пыль, ни пары воды или пары, образующиеся при приготовлении пищи. Кроме того, они могут контролировать уровень загазованности помещений токсичными и пожароопасными газами, т. е. являются фактически приборами двойного назначения — извещателями пожарными и газосигнализаторами. Поскольку методы испытаний и технические требования для этих типов приборов различаются, то они могут стать таковыми только после соответствующей сертификации их в качестве как извещателей пожарных, так и газосигнализаторов. Хотя некоторые российские производители пишут в руководстве по эксплуатации, что ИПГ может использоваться в качестве газосигнализатора угарного газа (СО). Тем самым вопрос сертификации газосигнализатора фактически возлагается на потребителя. Конечно, проводить два сертификационных испытания одного и того же прибора представляется нелогичным и ненужным. Желательно максимально приблизить методику испытаний ИПГ и газосигнализаторов, тем более что они очень похожи. Ну и конечно, сертификационный центр (скажем, Госстандарта) должен получить дополнительно аккредитацию в пожарном ведомстве. К счастью, в ГОСТ Р 53325 пока не регламентированы методы испыта-

ний ИПГ, поэтому сейчас можно продумать вопрос об их испытаниях и несколько отклониться от требований EN 54-26, EN 54-30 [1, 2]. К тому же данные нормативные документы относятся к извещателям пожарным общепромышленного и коммерческого назначения. Однако извещатели пожарные газовые, как мы уже говорили выше, имеют преимущества по сравнению с дымовыми извещателями, которые наиболее полно раскрываются при их использовании в бытовых помещениях, где всегда присутствуют пары (на кухнях, в ванных, прачечных). Ясно, что высокотехнологичные производственные помещения, как правило, особо чистые, и в них нормально работают и дымовые извещатели. Что касается нормативных документов для бытовых ИПГ, то они вообще отсутствуют как в Европе, так и в Америке (США, Канада). Однако на Западе сертификационные центры имеют право регулировать подобные ситуации, издавая свои стандарты “предотвращения потерь” (например, Loss Prevention Standard LPS 1282 [3]).

В России ситуация несколько отличается: у нас нет сертификационных центров широкой специализации, которые бы занимались разработкой и публикацией стандартов. В связи с этим возникает необходимость в разработке стандарта (хотя бы ведомственного) для бытовых ИПГ, которые могли бы использоваться и как газосигнализаторы загазованности угарным газом (т. е. для приборов двойного назначения). На бытовые газосигнализаторы зага-

Таблица 1. Характеристики испытательных газов, применяемых для имитации аварийной ситуации по EN 50291-1

Эталонный газ	Концентрация CO, ppm	ПГС* CO, ppm	Время без срабатывания сигнализации, мин, не менее	Время до срабатывания сигнализации, мин, не более
А	30	33±3	120	—
Б	50	55±5	60	90
В	100	110±10	10	40
Г	300	330±30	—	3

* ПГС — поверочная газовая смесь.

зованности помещений распространяются стандарты EN 50291-1 “Электрическое оборудование для обнаружения оксида углерода в бытовых помещениях — Часть 1: Методы испытаний и требования” и EN 50291-2 “Электрооборудование для обнаружения оксида углерода в бытовых помещениях — Часть 2: Электрооборудование для непрерывной работы со стационарной установкой в транспортных средствах для отдыха и аналогичных помещениях, в том числе прогулочных судов — Дополнительные методы испытаний и требования к рабочим характеристикам” [4, 5]. Рассмотрим требования к испытаниям газосигнализаторов в соответствии с дан-

ными нормативными документами и сравним их с требованиями EN 54-30 относительно канала CO. Необходимо сразу отметить, что влияние определенной концентрации CO на человека зависит от времени, в течение которого он подвергался воздействию этой концентрации. Скажем, при концентрации 50 ppm он может подвергаться ее воздействию в течение не более 3 ч, поэтому EN 50291-1 требует установления трех порогов срабатывания, зависящих как от концентрации CO, так и от времени его воздействия (табл. 1).

В отечественных стандартах такой подход не применяется. Газосигнализаторы имеют один (50 ppm) или два (50 и 150 ppm) порога срабатывания независимо от времени. Стоит ли приводить наши нормы в соответствие с EN 50291-1, зависит от экономической целесообразности (на рынке присутствуют приборы, не соответствующие этому стандарту).

В табл. 2 и 3 приведены те пункты испытаний, которые можно и желательно объединить, чтобы унифицировать методы испытаний EN 50291-1 и EN 54-30.

Как видно из табл. 2–6, методы испытаний газосигнализаторов CO и ИПГ (CO) похожи, поэтому их можно унифицировать. Что касается конструктив-

Таблица 2. Испытание газосигнализаторов CO по EN 50291-1

Наименование испытания	Методика испытания
Условия выдачи сигнала тревоги	Согласно табл. 1 восстановление из состояния тревоги — подача чистого воздуха
Отклик на смесь оксида углерода и других газов	После воздействия газовых смесей согласно табл. 4 в течение 90 мин газосигнализатор должен восстанавливаться при продувке чистым воздухом в течение 6 мин
Долговременная стабильность	Прибор находится во включенном состоянии на протяжении 3 мес и подвергается периодическому воздействию испытательной газовой смеси CO. Под воздействием смеси CO – воздух сигнал тревоги должен срабатывать в соответствии с условиями табл. 3. Восстановление из состояния тревоги происходит в течение 6 мин под воздействием чистого воздуха
Время срабатывания	Прибор не должен срабатывать во время первоначального воздействия чистым воздухом. Устройство должно сработать в течение 3 мин при воздействии высокой концентрации CO. После прекращения воздействия высокой концентрации CO прибор должен восстановиться в течение 15 мин в среде чистого воздуха
Влияние изменения температуры	Выдержать устройство и эталонный газ при температуре $(-10 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 6 ч, затем — при комнатной температуре в течение, по крайней мере, 6 ч и, наконец, при температуре $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ не менее 6 ч. В конце каждой экспозиции и перед каждым изменением условий подвергать прибор воздействию испытательного газа. Под воздействием смеси CO – воздух сигнал тревоги должен выдаваться в соответствии с табл. 1
Изменение параметров электропитания	Установить прибор при нормальных условиях, номинальном напряжении питания U_n и частоте. Воздействовать на прибор испытательным газом при напряжении питания $U_n + 10\%$. Повторить испытание при напряжении питания $U_n - 10\%$. При воздействии смеси CO – воздух сигнал тревоги должен выдаваться в соответствии с табл. 3. Восстановление из состояния тревоги происходит в течение 6 мин под воздействием на прибор чистого воздуха
Скорость испытательного газа	Подать на устройство испытательный газ А при скорости смеси в проточной камере $(1,2 \pm 0,1)$ м/с в течение 2 ч. В течение всего испытания сигнал тревоги выдаваться не должен

Таблица 3. Испытание пожарных извещателей СО по EN 54-30

Наименование испытания	Методика испытания
Воспроизводимость	При любой скорости нарастания концентрации СО менее 1 ppm/мин извещатель не должен выдавать сигнал пожарной тревоги, пока концентрация СО не достигнет 60 ppm. СО должен быть введен в канал так, чтобы скорость нарастания его концентрации была в диапазоне от 1 до 6 ppm/мин, пока образец не перейдет в состояние срабатывания. $S_{\max}/S_{\min}^* \leq 1,6$ и $S_{\min} \geq 25$ ppm
Влияние концентрации химических веществ	Во время испытаний прибора согласно табл. 5 не должен выдаваться ни сигнал тревоги, ни сигнал неисправности. $S_{\max}/S_{\min} \leq 1,6$ и $S_{\min} \geq 25$ ppm
Долговременная стабильность	В ходе испытаний на протяжении 84 сут. не должен выдаваться аварийный сигнал или сигнал неисправности при работе прибора в нормальных условиях. В конце испытаний он подвергается испытаниям газовой смесью. $S_{\max}/S_{\min} \leq 1,6$ и $S_{\min} \geq 25$ ppm
Время срабатывания	Испытуемый образец должен находиться во включенном состоянии. Продуть канал чистым воздухом. Подавать СО так, чтобы скорость увеличения концентрации СО была 6 ppm/мин. Зафиксировать время срабатывания образца
Влияние изменения температуры	Установить первоначальную температуру воздуха (23 ± 5) °С. Установить прибор в канал СО, а сам канал — в климатическую камеру. Температуру воздуха в камере увеличить со скоростью не более 1 °С/мин до (55 ± 2) °С и выдержать при этой температуре 2 ч. Затем температуру снизить со скоростью не более 1 °С/мин до (-10 ± 3) °С и выдержать при этой температуре 16 ч. $S_{\max}/S_{\min} \leq 1,6$ и $S_{\min} \geq 25$ ppm
Изменение параметров электропитания	Изменить параметры питания в соответствии с допусками производителя. Извещатель соответствует требованиям, если $S_{\max}/S_{\min} \leq 1,6$ и $S_{\min} \geq 25$ ppm
Воздушный поток	Значение порога срабатывания необходимо измерять в положении с наибольшей и наименьшей чувствительностью при скорости потока 0,2 м/с. Полученные значения необходимо обозначить как $S(0,2)_{\max}$ и $S(0,2)_{\min}$. Повторить измерения при скорости потока $(1 \pm 0,2)$ м/с. Полученные значения необходимо обозначить как $S(1)_{\max}$ и $S(1)_{\min}$. Должно выполняться условие: $0,625 \leq (S(0,2)_{\max} + S(0,2)_{\min}) / (S(1)_{\max} + S(1)_{\min}) \leq 1,6$. Сигнал тревоги не должен выдаваться при чистом воздухе

* $S_{\max}$, $S_{\min}$ — максимальное и минимальное значения порога срабатывания.

Таблица 4. Состав газовой смеси для испытаний на влияние мешающих компонентов по EN 50291-1

Номер компонента	Концентрация, ppm	Газ-разбавитель	Расчетная объемная концентрация в конечной смеси, ppm
1	(60 ± 6) CO	Воздух	54 CO
	(33 ± 3) H ₂		30 H ₂
	(5500 ± 300) CO ₂		4950 CO ₂
2	(100 ± 10) NO	Азот	5 NO
3	(100 ± 10) SO ₂	Воздух или азот	5 SO ₂

ных требований, то для бытовых приборов этих типов они практически идентичны.

Для бытовых газосигнализаторов и пожарных извещателей (см. EN 14604 [6]) визуальные индикаторы должны соответствовать следующим требованиям:

Таблица 5. Влияние основных мешающих газов и паров и время их воздействия по EN 54-30

Последовательность воздействий	Химический компонент	Концентрация, ppm ± 20 %	Время воздействия, ч	Время восстановления, ч ± 20 %
1	Оксид углерода	15	24	1
2	Диоксид азота	5	24	1
3	Диоксид серы	5	24	1
4	Хлор	2	1	1
5	Аммиак	35	1	1
6	Гептан	500	1	1
7	Этанол	1000	1	24
8	Ацетон	1500	1	24
9	Гексаметилдисилоксан	10	1	1
10	Озон	0,2	1	1

Таблица 6. Требования к конструкции

Конструкционные требования	EN 60335-1:2002, номер пункта
Защита от доступа к токоведущим частям	8
Прогрев	11
Ток утечки и электрическая прочность при рабочей температуре	13
Влагостойкость	15.1; 15.3
Ток утечки и электрическая прочность	16
Защита от перегрузки трансформатора и соединенных цепей	17
Нарушение работоспособности	19
Требования к конструкции	22
Внутренняя проводка	23
Требования к составным частям	24.1; 24.2; 24.4
Присоединение к источнику питания, внешние гибкие шнуры	25.3
Зажимы для внешних проводов	26
Устройство заземления	27
Винты и соединения	28
Сопротивление утечки, зазоры и промежутки в изоляции	29
Стойкость к нагреву и возгоранию	30
Стойкость к коррозии	31

а) индикаторы блока питания должны быть окрашены в зеленый цвет;

б) индикаторы тревоги должны быть красного цвета;

в) визуальная индикация неисправности (при ее наличии) должна быть желтой;

г) индикация выхода из строя датчика (при ее наличии) должна однозначно отличаться от всех других индикаторов;

д) индикаторы должны быть помечены так, чтобы было понятно их функциональное назначение;

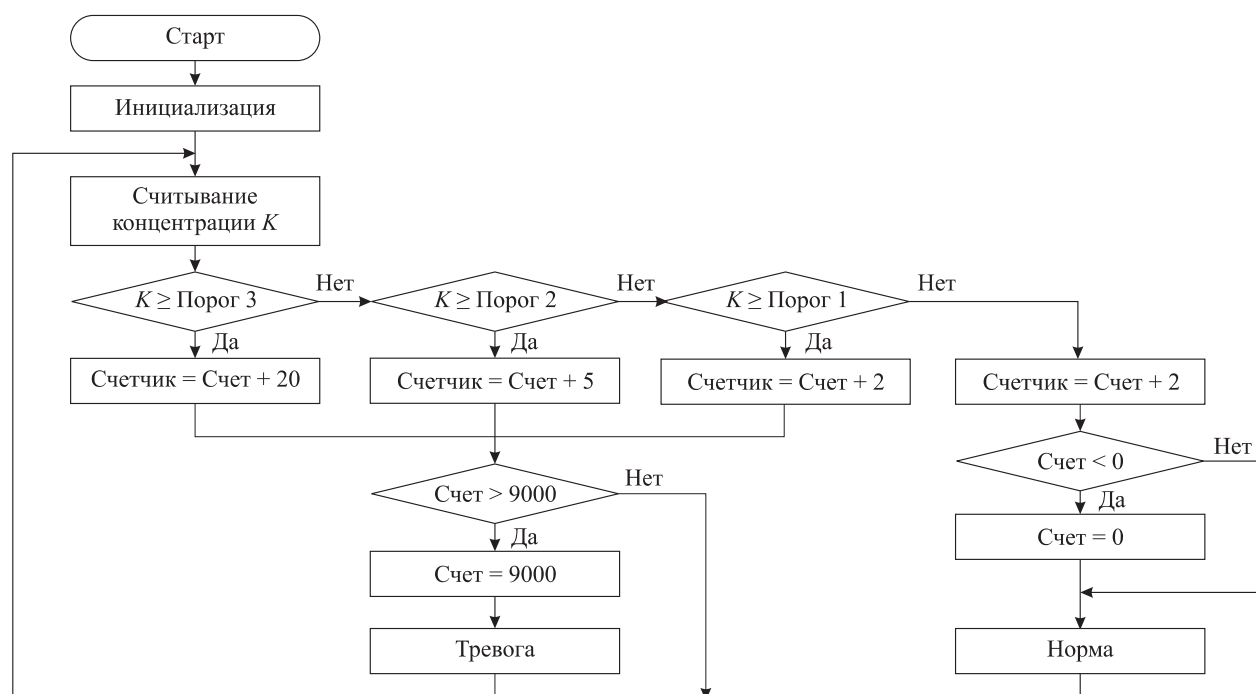
е) индикаторы должны быть видны, когда прибор установлен в своем рабочем положении в соответствии с инструкциями производителя.

Кроме того, устройство должно иметь звуковую сигнализацию.

Все устройства и средства настройки, предназначенные для настройки, или доступа к устройствам регулировки должны быть сконструированы таким образом, чтобы препятствовать несанкционированному вмешательству в прибор.

Таким образом, мы видим, что конструктивные требования к бытовым пожарным извещателям и газосигнализаторам совпадают, хотя и несколько отличаются от требований, предъявляемых к общепромышленным и коммерческим приборам (см. EN 54-30, EN 45544 [7]).

Что касается трехпороговой аварийной сигнализации загазованности CO, то ее достаточно легко реализовать. Приведем в качестве примера предлагаемую фирмой “Figaro” измерительную схему при использовании сенсора CO TGS2442. В этой схеме применяется импульсное питание нагревателя, а в систему регистрации введен счетчик импульсов для обработки импульсов по определенному алгоритму, амплитуда которых больше предельного значения.



Алгоритм обработки сигнала газосигнализатора угарного газа (K — концентрация)

Таким образом, сигнал тревоги выдается при определенном количестве регистрируемых импульсов и измеряется произведение *концентрация × время*, т. е. фактически доза, которую человек получает, находясь в этом помещении.

Таким образом, была реализована электрическая измерительная схема, в которой было установлено три порога срабатывания газосигнализатора: 1) концентрация СО 50 ppm, время срабатывания 2 мин — прерывистые звуковые и световые сигналы с частотой 1 Гц; 2) концентрация СО 100 ppm, время срабатывания 2 мин — сигналы с частотой 2 Гц; 3) концентрация СО 300 ppm, время срабатывания 2 мин — непрерывные сигналы и срабатывание реле (нормально разомкнутые контакты замыкаются и наоборот). При этом при концентрации 50 ppm 2-й порог срабатывает через 10 мин, 3-й — через 90 мин.

Алгоритм обработки сигнала при условии аккумулятивного метода измерения (*концентрация × время*) приведен на рисунке. При включении прибора он находится в состоянии начального прогрева до его выхода в рабочий режим. При этом периодически вспыхивает зеленый светодиод. После прогрева прибор начинает работу в нормальном режиме. Измерение концентрации газа проводится каждую секунду.

После достижения концентрации 1-го порога увеличивается скорость счета импульсов в 2 раза до 2 Гц. При этом начинает мигать красный светодиод с частотой 1 Гц. После понижения концентрации до уровня менее 1-го порога скорость счета снижается в 2 раза.

При достижении концентрации 2-го и 3-го порога скорость счетчика увеличивается до 5 и 20 Гц соответственно. Частота мигания красного светодиода равна 1 Гц с двумя вспышками и 4 Гц соответственно.

При достижении счетчиком значения 9000 включается звуковая индикация и коммутация внешней цепи.

Выводы

Таким образом, мы видим, что некоторые методы испытаний, приведенные в табл. 2 и 3, можно объединить, а испытания других проводить совместно или договориться о признании результатов испытаний. Все это позволит упростить сертификацию приборов двойного назначения. Что касается различий в нормах предельно допустимых концентраций СО у нас и за рубежом, то обычно при поставке на экспорт пользуются услугами зарубежных сертификационных центров, тогда нормы допустимого воздействия СО должны соответствовать требованиям нормативных документов страны, куда поставляется изделие. При поставках приборов на внутренний рынок необходимо пользоваться услугами наших сертификационных центров. Тогда сигнальная концентрация для газосигнализаторов СО должна соответствовать 50 ppm, что совпадает (с учетом погрешности) с сигнальной концентрацией ИПГ. При поставке на экспорт каналы сигнализации прибора как газосигнализатора СО и как пожарного извещателя СО, по-видимому, придется разделить, чтобы не путать аварийную пожарную сигнализацию с сигнализацией о загазованности помещений СО (требование стандарта LPS 1282).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. prEN 54-26:2008. Fire detection and fire alarm systems — Part 26: Point fire detectors using carbon monoxide sensors. URL : <http://www.beuth.de/en/draft-standard/din-en-54-26/106410693> (дата обращения: 10.04.2014 г.).
2. prEN 54-30:2009. Fire detection and fire alarm systems — Part 30: Multi-sensor fire detectors — Point detectors using a combination of carbon monoxide and heat sensors. URL : <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=97297B918692E49EDF01699464FBCDD9?preview=&dokkey=332845&selectedLocale=en> (дата обращения: 10.04.2014 г.).
3. LPS 1282: Issue 1.0. Requirements and testing procedures for combined domestic smoke and carbon monoxide detectors. BRE Certification 2011. URL : https://redbooklive.com/pdf/LPS1282_1_0_Domestic_Combined_Smoke_and_CO_detectors.pdf (дата обращения: 10.04.2014 г.).
4. EN 50291-1:2010 E. Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises — Part 1: Test methods and performance requirements. URL : <http://www.en-standard.eu/csn-en-50291-1-electrical-apparatus-for-detection-of-carbon-monoxide-in-domestic-premises-part-1-test-methods-and-performance-requirements> (дата обращения: 10.04.2014 г.).
5. EN 50291-2:2010 E. Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises — Part 2: Electrical apparatus for continuous operation in a fixed installation in recreational vehicles and similar premises including recreational craft — Additional test methods and performance requirements. URL : <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=81AB21589FC342D1C11D5C0F3A735BD0?preview=&dokkey=376340&selectedLocale=en> (дата обращения: 10.04.2014 г.).

6. ДСТУ EN 14604:2009. Системы пожарной сигнализации. Сигнализаторы дыма пожарные. URL : <http://www.document.ua/sistemi-pozhezhnoyi-signalizaciyi.-signalizatori-dimu-pozhez-nor19671.html> (дата обращения: 10.04.2014 г.).
7. ДСТУ EN 45544-1:2009. Воздух рабочей зоны. Сигнализаторы и анализаторы токсичных газов и паров электрические. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. URL : <http://lindex.net.ua/ua/shop/bibl/485/doc/12991> (дата обращения: 10.04.2014 г.).

Материал поступил в редакцию 21 апреля 2014 г.

English

COMBINED DEVICES WITH DUAL PURPOSE: GAS DETECTORS THAT WARN ABOUT THE PRESENCE OF FIRE AND MEASURE INDOOR GAS POLLUTION

KOZUBOVSKIY V. R., Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Uzhgorod National University, Ministry of Education and Science of Ukraine (Podgornaya St., 46, Uzhgorod, 88000, Ukraine; e-mail: kozub@hotmail.com)

FEDAK M. V., Postgraduate Student of Uzhgorod National University, Ministry of Education and Science of Ukraine (Podgornaya St., 46, Uzhgorod, 88000, Ukraine)

ABSTRACT

The article discusses certification methods of combined devices with dual purpose: gas detectors that warn about the presence of fire and measure indoor gas pollution. Requirements in the current regulatory documents (European standards) for the design and testing methods of such devices are examined. It is demonstrated that the current standards concerning fire gas detectors and gas detectors of CO do not contain essentially contradictory requirements and can be unified and applied to the combined dual-purpose devices that are described in this article.

With regard to difference in norms of maximum permissible concentrations of CO in Russia and abroad, the concentration of the signal for our CO gas detectors typically corresponds to 50 ppm, which is the same (subject to error) with the signal fire detectors gas concentration. According to EU norms the establishment three thresholds, depending on both the concentration and the time is required. To demonstrate the feasibility of the three threshold CO alarm that meets the requirements EN 50291, the article describes a signal processing algorithm gas detector carbon monoxide using sensor TGS2442.

Keywords: gas-sensing fire detectors; combination detector; gas alarms; certification test; carbon monoxide.

REFERENCES

1. prEN 54-26:2008. Fire detection and fire alarm systems — Part 26: Point fire detectors using carbon monoxide sensors. Available at: <http://www.beuth.de/en/draft-standard/din-en-54-26/106410693> (Accessed 10 April 2014).
2. prEN 54-30:2009. Fire detection and fire alarm systems — Part 30: Multi-sensor fire detectors — Point detectors using a combination of carbon monoxide and heat sensors. Available at: <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=97297B918692E49EDF01699464FBCDD9?preview=&dockey=332845&selectedLocale=en> (Accessed 10 April 2014).
3. LPS 1282: Issue 1.0. Requirements and testing procedures for combined domestic smoke and carbon monoxide detectors. BRE Certification 2011. Available at: https://redbooklive.com/pdf/LPS1282_1_0_Domestic_Combined_Smoke_and_CO_detectors.pdf (Accessed 10 April 2014).
4. EN 50291-1:2010 E. Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises — Part 1: Test methods and performance requirements. Available at: <http://www.en-standard.eu/csn-en-50291-1-electrical-apparatus-for-detection-of-carbon-monoxide-in-domestic-premises-part-1-test-methods-and-performance-requirements/> (Accessed 10 April 2014).

5. EN 50291-2:2010 E. Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises — Part 2: Electrical apparatus for continuous operation in a fixed installation in recreational vehicles and similar premises including recreational craft — Additional test methods and performance requirements. Available at: <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action?sessionId=81AB21589FC342D1C11D5C0F3A735BD0?preview=&dokkey=376340&selectedLocale=en> (Accessed 10 April 2014).
6. EN 14604:2005 E. Fire alarm systems. Smoke alarm devices. Available at: <http://www.en-standard.eu/csn-en-14604-smoke-alarm-devices/> (Accessed 10 April 2014).
7. prEN 45544-1:2013. Workplace atmospheres. Electrical apparatus used for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours General requirements and test methods. Technical Committee 052 Occupational health, ergonomics, safety technology. Available at: <http://www.en-standard.eu/csn-en-45544-1-workplace-atmospheres-electrical-apparatus-used-for-the-direct-detection-and-direct-concentration-measurement-of-toxic-gases-and-vapours-part-1-general-requirements-and-test-methods/> (Accessed 10 April 2014).



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

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПРОТИВОПОЖАРНОМ НОРМИРОВАНИИ. ЧЕГО НЕ ВИДИТ ПОЖАРНАЯ НАУКА?

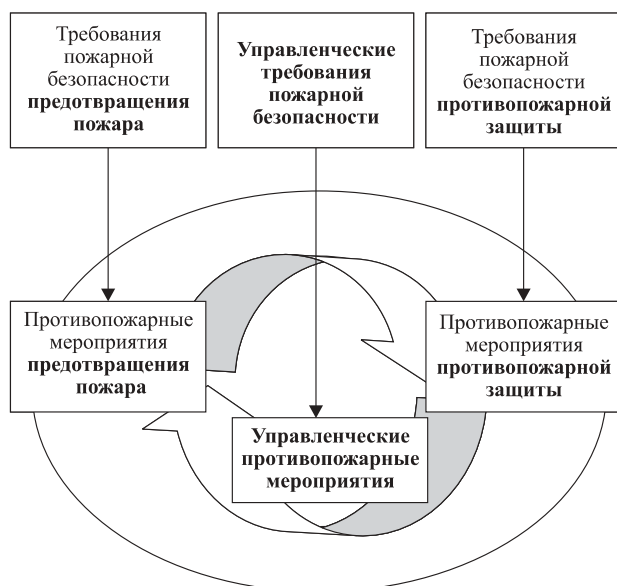
© **В. В. ЖУКОВ**, частный эксперт
(г. Москва; e-mail: gvv5151@gmail.com)

В решении проблем пожарной безопасности преобладает технократический тренд. Технократы довели органы ГПН МЧС России до кризиса. Кризис органов ГПН продолжает тянуть в тупик всю систему обеспечения пожарной безопасности страны. Во многом виновата пожарная наука, которая конструирует многочисленные технические средства обеспечения пожарной безопасности, но не дает ответа, как эти средства внедрить в жизнь.

Многие из нас считают, что пожарная безопасность (ПБ) имеет только техническое содержание, что это система противопожарных инженерно-технических и архитектурно-строительных средств. Поэтому институт ПБ исследуется и развивается пожарной наукой преимущественно с технократических позиций — инженерных, математических, статистических. А права ли пожарная наука?

Недоработка содержания системы обеспечения пожарной безопасности пожарной наукой

В соответствии с законом [1] для обеспечения ПБ каждая организация должна иметь систему пред-



Модель, характеризующая взаимоотношения технических и управленческих противопожарных мероприятий: управленческие противопожарные мероприятия являются “приводным ремнем”, драйвером по отношению к техническим противопожарным мероприятиям

отвращения пожара, систему противопожарной защиты и комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению ПБ (см. рисунок). При этом дано определение только первым двум разделам, а третьему (комплексу организационно-технических мероприятий по обеспечению ПБ) — нет. Почему? Потому что пожарная наука сама не знает, в чем смысл этого комплекса.

Ученые не учитывают того, что противопожарные инженерно-технические и архитектурно-строительные средства производятся и управляются человеком; что обеспечение ПБ — это целенаправленная деятельность коллектива людей; что все технические противопожарные мероприятия реализуются благодаря управленческой деятельности руководителей и должностных лиц организации. Следовательно, ученые не учитывают того, что система ПБ фактически включает организационную и управленческую деятельность. В этом и заключается смысл “комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению ПБ”. Но тогда он неточно назван, поскольку он состоит из “управленческого” материала, а его техническая составляющая сосредоточена в первых двух разделах. Отсюда следует, что третий раздел должен быть назван: “комплекс организационно-управленческих мероприятий по обеспечению ПБ”.

Если первые два технических раздела имеют свои требования ПБ, то и третий тоже должен иметь свои требования ПБ — управленческие. И они есть.

Об управленческих требованиях ПБ

В системе требований ПБ за последние 20 лет сложилась новая, самостоятельная группа требований — управленческие требования ПБ. **Управленческие требования ПБ** — это правовые нормы, вменяющие субъектам в обязанности, функции, задачи, организационные технологии, цели деятель-

ности, полномочия, компетенции для осуществления противопожарных мероприятий. Управленческие требования ПБ регулируют организационно-распорядительную деятельность субъектов, несущих ответственность за обеспечение ПБ. **Противопожарное нормирование управленческой деятельности** — это часть технического регулирования ПБ по установлению управленческих требований ПБ.

Для кого устанавливаются управленческие требования пожарной безопасности

В отличие от советской системы, в которой было одно управленческое требование: “за обеспечение пожарной безопасности отвечает руководитель организации”, в новой России установлен большой круг субъектов, ответственных за обеспечение ПБ. Это руководители организаций и должностные лица; лица, назначенные ответственными за обеспечение ПБ; собственники имущества и лица, уполномоченные владеть, пользоваться или распоряжаться имуществом; юридические лица и индивидуальные предприниматели; федеральные органы исполнительной власти и органы власти субъектов; органы местного самоуправления. Таких ответственных лиц более 10 миллионов — от инженера предприятия до федерального министерства, и для всех них устанавливаются управленческие требования ПБ.

Проблема качества управленческих требований ПБ

Несмотря на то что из всех существующих требований ПБ управленческие составляют небольшую долю, именно они являются тем “приводным ремнем”, который позволяет реализовать все технические противопожарные мероприятия. Если управленческие требования являются “приводным ремнем”, то они должны быть эффективными. Если управленческие требования распространяются на 10 миллионов, то они не должны противоречить друг другу: их содержание, смысл и язык должны быть понятны для всех. Чтобы управленческие требования ПБ были эффективными, не противоречили друг другу и были понятными, они должны быть качественными и находиться на высоком профессиональном уровне, а технологии управления должны быть стандартизированы.

Состояние качества управленческих требований ПБ

Некоторые примеры из правовых нормативных актов

Согласно определению функции “государственный пожарный надзор” в законе № 69-ФЗ [2] орга-

нами ГПН МЧС России выполняются две взаимоисключающие функции: 1) негосударственная экспертная — оценка соответствия; 2) государственная — функция надзора. Результатом такой деятельности этих органов стало отсутствие и положенного надзора, и востребованной экспертизы. Таким образом, деятельность органов ГПН МЧС России не соответствует задачам обеспечения ПБ страны.

В ст. 37 [2] установлено, что руководители организаций осуществляют непосредственное руководство системой пожарной безопасности, но ни в одном из нормативных актов не дано определение системе пожарной безопасности. Однако нельзя возлагать на кого-либо обязанности и не объяснять, в чем они заключаются, ведь руководители организаций несут за это юридическую ответственность.

Некоторые примеры из технических нормативных актов

Ст. 63 [1] вводит понятие “ПБ муниципального образования”, но определения ему не дает. В результате возникает ситуация, при которой 23 000 органов местного самоуправления не понимают, что делать и как обеспечить то, что не имеет содержания. В ст. 64 [1] установлена обязанность для 2 млн. организаций осуществлять декларирование ПБ, которое не отражает фактического противопожарного состояния. В законе [1] записано, что декларация — это “информация о мерах пожарной безопасности, направленных на обеспечение пожарного риска”. А в приказе МЧС № 91 [3] говорится о “перечне законов и нормативных документов, выполнение которых обеспечивается...”, т. е. о том, что предстоит сделать. Но тогда, во-первых, в соответствии с законодательством ПБ — это “состояние защищенности”, т. е. фактическое состояние, а не то, что предстоит сделать. Во-вторых, декларирование того, что предстоит сделать, стране не нужно, так как это не приведет к повышению уровня ПБ. Далее. Ст. 144 [1] совершенно ошибочно называет функцию государственного пожарного “надзора” одной из форм “оценки соответствия”, тем самым неправомерно приравнивая государственную административную функцию к негосударственной экспертной (хозяйственной) деятельности. Такое смешение привело к неуправляемости системы обеспечения ПБ.

В Правилах противопожарного режима в РФ [4] из 500 требований около 100 — это управленческие обязанности руководителей организаций. Они сформированы таким образом, что они не входят и не могут входить в компетенцию руководителя. По сути, это обязанности работников организации, а не руководителя, поэтому эти требования не могут быть ни соблюдены, ни нарушены лично руководителем. Вот одно из них: руководитель лично должен *обес-*

печить наличие табличек с номером телефона; обеспечить исправность клапанов мусоропроводов; извещать пожарную охрану об уменьшении давления в водопроводной сети. Разве за это должен отвечать лично руководитель? Разве можно за руководителем часть требований закреплять, а остальные — нет? Ясно, что нельзя. Руководитель должен отвечать за все требования ПБ и за каждое из них в отдельности. Руководитель должен отвечать за организацию и за “систему”, которая обеспечивает соблюдение всех требований ПБ.

Следующая обязанность: “руководитель организации должен назначить ответственное лицо за ПБ”. Возникает вопрос: зачем назначать такое лицо, если руководитель уже отвечает за ПБ? Такое дублирование — это ненужная подмена, которая вносит раздрой в систему управления организацией. Статус этого лица не определен, а значит, не может наступить и его юридическая ответственность, поэтому институт “параллельного ответственного лица” не работает. Специалисты пожарной безопасности на форуме констатируют, что *“никак не обозначено, по каким критериям выбирается ответственное лицо. Теоретически получается: можно назначить уборщицу, провести с ней обучение по курсу пожарно-технического минимума и пусть обеспечивает, а случись чего, пуцай штрафуют или, в крайнем случае, сажают”* (<http://0-1.ru/discuss/?id=20362>). Нет ответа на вопросы: если руководитель не считает нужным назначать ответственное лицо, желая нести персональную ответственность, или если организация маленькая (например, детский сад), и назначать некого? Вот пример негативных последствий таких противоречий: *“На 150 тысяч рублей штрафа потянуло отсутствие ответственного за противопожарное состояние объекта в Рассказихинском сельском совете Алтайского края”* (<http://0-1.ru/?id=40621>). Все это наносит огромный вред делу предупреждения пожаров.

Некоторые примеры управленческих требований ПБ по контролю за противопожарным состоянием

Контроль за противопожарным состоянием осуществляется на федеральном, территориальном, ведомственном уровнях и является важнейшим элементом системы обеспечения ПБ. Соответствующие органы издают руководящие документы, в которые включаются управленческие требования ПБ по контролю за противопожарным состоянием.

Например, из содержания нормативных актов [5, 6] следует, что обязанностью государственного пожарного инспектора МЧС России является “выявление всех нарушений требований ПБ, имеющих на момент проверки”. Так формулировать управ-

ленческие требования ПБ нельзя. Во-первых, в соответствии с действующим законодательством [2] инспектор не обязан и не должен выявлять все имеющиеся нарушения. Во-вторых, не может инспектор выявить все имеющиеся нарушения за время проверки. Подобное неправильное и неправомерное формулирование обязанностей инспектора, с одной стороны, ведет к тому, что органы ГПН МЧС России занимаются не тем, чем положено, а с другой — это является основной причиной привлечения (после крупных пожаров) к уголовной ответственности, якобы по халатности, практически безвинных инспекторов.

МЧС России установлен перечень документов, которые необходимо инспектору изучить при проверке предприятий и организаций [5]. Итогом проверки документов являются: анализ содержащихся в них сведений и выводы по оценке соответствия деятельности должностных лиц требованиям ПБ. Однако в большинстве случаев инспекторский состав ни анализ сведений не проводит, ни выводы по оценке соответствия не формулирует. Причина этого кроется в том, что инспекторам не разъясняют, что такое анализ сведений и оценка соответствия деятельности должностных лиц требованиям ПБ. Из этого видно, что данное управленческое требование по контролю за ПБ сформулировано некачественно, а отсюда и неэффективность государственного пожарного надзора за противопожарным состоянием.

Некоторые примеры из нормативных актов в которых исходя из их предназначения должны быть управленческие требования ПБ

В стране различными органами власти и управления и хозяйственными объединениями принимается большое число нормативных актов и документов по пожарной безопасности, в которых (исходя из их предназначения) должны содержаться управленческие требования ПБ, но их там нет. Например, в законе № 123-ФЗ [1] раздел IV “Требования пожарной безопасности к производственным объектам” не содержит ни управленческих требований ПБ к производственным объектам, ни указаний, где найти эти требования. Получается, что технические требования ПБ есть, а управленческих требований к производственным объектам нет. Но это, во-первых, противоречит ст. 5 этого же закона, согласно которой “каждая организация должна иметь... комплекс организационно-технических (организационно-управленческих. — Авт.) мероприятий по обеспечению ПБ”. Из этого следует, что должны быть установлены управленческие требования ПБ к производственным объектам. Во-вторых, управленческие требования ПБ к производственным объ-

ектам фактически есть, но в других нормативных актах.

Что помешало авторам закона [1] в ст. 144 дать определение управленческой функции “производственный контроль”? Тем не менее не дали. Несмотря на то что мы профессионально обязаны применять производственный контроль или проверять его состояние, большинство из нас не знает, что это такое. Как следствие, эта категория не работает, что не способствует повышению уровня ПБ страны.

Далее. Правилами проведения расчетов по оценке пожарного риска [7] предусмотрен анализ пожарной опасности зданий и сооружений, но не предусмотрен анализ состояния управленческой деятельности руководителей предприятий и организаций по обеспечению ПБ этих зданий и сооружений. Иными словами, Правила [7] исходят из того, что ПБ зданий и сооружений обеспечивается как бы сама собой — без участия специалистов и руководителей организаций. Но так не бывает. Управленческая деятельность руководителей и специалистов по вопросам ПБ — это такая же пожарная опасность, как и техническая пожарная опасность.

Пожарно-профилактическая работа осуществляется на объектах экономики пожарной охраной более 60 лет и по-прежнему является востребованной услугой. Тем не менее, несмотря на длительную историю этого вида деятельности, пожарная наука не дала ей определения. На практике это приводит к бюрократическим последствиям и материальным потерям. Так, например, пожарно-профилактическая работа не включена в перечень услуг в области ПБ. Это создало странную ситуацию. Сложилось такое представление, что эту работу, якобы, может выполнять только пожарная охрана МЧС. На самом же деле эту услугу успешно могут выполнять частные экспертные организации, но по указанным причинам не выполняют.

Состояние стандартизации управленческой деятельности по обеспечению ПБ

Нестандартизованность технологии управления

Стандартизация — это методология, это своего рода дорожная карта, определяющая, как эффективно и правильно выстроить противопожарную работу, чтобы ответственные лица не путались в море условий, запретов, ограничений, чтобы они знали, с чего начинать, что является главным, что является критерием их деятельности.

Стандартизация технологии управления используется всеми, везде и давно. И только в управленческой деятельности предупреждения пожаров на

предприятиях и в организациях методы стандартизации не нашли своего применения. Вместо стандартизации органы ГПН МЧС России навязывают всей стране архаичные методы “колхозной пожарно-сторожевой охраны”. На сегодняшний день нам известен лишь один управленческий стандарт. Это отраслевой стандарт ОАО РЖД СТО РЖД 1.15.009–2013 “Система управления пожарной безопасностью в ОАО “РЖД”. Основные положения”. То, что на объектах экономики и социальной сферы не используется стандартизация технологии предупреждения пожаров, говорит об отсутствии соответствующей методологии.

Нестандартизованность профессиональной управленческой деятельности

На предприятиях и в организациях страны работает большое количество специалистов ПБ, однако действующим законодательством их компетенция не определена. Вследствие этого на разных предприятиях для данных специалистов установлены разные полномочия, функции, пределы ответственности, цели, критерии оценки деятельности.

Одной из разновидностей управленческих стандартов являются профессиональные стандарты — стандарты квалификационных характеристик управленческих функций специалистов. Минтрудом предложен профессиональный стандарт “специалиста по противопожарной профилактике” [8], предполагающий следующие должности: инженер-профилактик по объемно-планировочным решениям; инженер-профилактик по средствам пожаротушения; инженер-профилактик по противопожарному водоснабжению; инженер-профилактик по дымоудалению и путям эвакуации; инженер-профилактик по пожарной автоматике; инженер-профилактик по огнезащите. В этом стандарте управленческая технология подменяется техническими технологиями предотвращения пожара и противопожарной защиты. Это приведет к тому, что на среднем предприятии специалистов по противопожарной профилактике будет от 50 до 100 чел., но это нереально. Такое положение стало возможным из-за отсутствия методологии стандартизации профессиональной управленческой деятельности специалиста ПБ.

Причины кризиса системы обеспечения пожарной безопасности страны

Как было отмечено, пожарная наука не учитывает, что все технические противопожарные мероприятия реализуются благодаря управленческой деятельности, что система ПБ фактически включает организационную и управленческую деятельность.

Игнорирование этих факторов влечет за собой неправильное понимание следующих фундаментальных категорий: *пожарная безопасность, обеспечение пожарной безопасности, пожарно-профилактическая работа, государственный пожарный надзор*. Мы ранее уже высказывали свое мнение на этот счет [9, 10].

Если пожарная наука и дальше будет индифферентно относиться к ошибочному мнению, что пожарная безопасность — это нереальное явление, что пожарная безопасность — это виртуально-вероятностная категория; если и дальше данное мнение будет формировать искаженное понимание фундаментальных категорий: *обеспечение пожарной безопасности, пожарно-профилактическая работа и государственный пожарный надзор*, то все это будет только усугублять существующий кризис органов ГПН МЧС России, который продолжает тянуть в тупик всю систему обеспечения пожарной безопасности страны.

Выводы

В заключение отметим, что 90 % управленческих требований ПБ противоречивы, непоследовательны и сформулированы непрофессионально. Приведенные многочисленные примеры последствий того, что управленческому понятию не дано определение, говорят о том, что пожарная наука не знает их смысла и содержания. Во многих нормативных актах управленческие требования просто напросто отсутствуют. Мы видим, что обязанности, функции, задачи, организационные технологии, цели деятельности, полномочия, компетенции и т. п. не то что сформулированы техническими специалистами МЧС России иным языком, а не соответствуют принципам и методам управленческой науки. То, что есть, и то, что должно быть, — это небо и земля, поэтому состояние противопожарного нормирования управленческой деятельности не отвечает задачам борьбы с пожарами и, кроме вреда, никакой пользы не приносит.

Если уровень ПБ страны низкий, то причина этого прежде всего кроется не столько в качестве и эффективности противопожарных инженерно-технических и архитектурно-строительных средств, сколько в низком качестве и неэффективности управленческих требований ПБ.

Назовем основные причины низкого качества управленческих требований ПБ:

1) большое количество управленческих требований ПБ, основанных не на технических, а на управленческих знаниях, на науке и теории управления,

разрабатывают технические специалисты (инженеры, математики и т. п.), которые некомпетентны в управленческих вопросах;

2) несмотря на то что управленческие требования ПБ имеют свой самостоятельный предмет противопожарного нормирования, соответствующие исследовательские и методологические работы не выполняются научными учреждениями МЧС России, хотя средства для этого выделяются;

3) пожарная наука и пожарная политика не рассматривают стандартизацию управленческой деятельности по обеспечению ПБ как важнейшее направление борьбы с пожарами. Пожарная наука не занимается разработкой для организаций, отраслей экономики и территорий методологических основ стандартизации управленческих технологий обеспечения ПБ;

4) часть управленческих требований ПБ включена в “правовые нормативные акты”, что, безусловно, является правильным. Часть управленческих требований ПБ содержится в “технических” нормативных актах, что неправильно. Чтобы предметы “технического” и “нетехнического” регулирования не “сливались”, они должны быть разнесены по разным нормативным актам — “правовым” и “техническим”.

В этой ситуации можно предложить следующее.

1. Управленческая деятельность по обеспечению ПБ должна быть отдельным, самостоятельным объектом противопожарного нормирования. Управленческие требования ПБ должны разрабатывать специалисты управленческого профиля. В пожарной науке должно быть самостоятельное направление — исследование управленческой деятельности по обеспечению ПБ.

2. В ТК-274 “Пожарная безопасность” необходимо создать подкомитет ПК-3 “Противопожарное нормирование управленческой деятельности по обеспечению пожарной безопасности. Разработка управленческих требований пожарной безопасности”.

3. Необходимо разработать типовой стандарт для организаций, отраслей и территорий “Система управления пожарной безопасностью”, а также проект профессионального стандарта “Специалист ПБ” и внести их на утверждение в Министерство труда и социальной защиты России.

4. Следует разработать и внести соответствующие изменения в федеральные законы № 123 [1], № 69 [2] и ГОСТ 12.1.004–91 “ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования”.

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. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. О пожарной безопасности (с изм. и доп.) : Федер. закон от 21.12.94 г. № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введен 26.12.94 г. // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.
3. Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности : приказ МЧС России от 24.02.2009 г. № 91; зарег. в Минюсте РФ 23.02.2009 г., рег. № 13577; введен 01.05.2009 г. // Информ. бюл. о нормативной, методической и типовой проектной документации. — 2009. — № 5.
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390; введен 01.09.2012 г. // Собр. законодательства РФ. — 07.05.2012. — № 19, ст. 2415.
5. Административный регламент Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности : приказ МЧС РФ от 28.06.2012 г. № 375; зарег. в Минюсте РФ 13.07.2012 г., рег. № 24901; введен 02.09.2012 г. // Российская Бизнес-газета. — 22.08.2012. — № 5865. URL : www.rg.ru/2012/08/22/reglament-dok.html (дата обращения: 12.05.2014 г.).
6. О федеральном государственном пожарном надзоре : постановление Правительства РФ от 12.04.2012 г. № 290 // Собр. законодательства РФ. — 23.04.2012. — № 17, ст. 1964.
7. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска : постановление Правительства РФ от 31.03.2009 г. № 272; введен 01.05.2009 г. // Российская газета. — Федер. вып. № 4884 от 08.04.2009 г. URL : www.rg.ru/2009/04/08/pozhar-risk-dok.html (дата обращения: 12.05.2014 г.).
8. Об утверждении профессионального стандарта специалиста по противопожарной профилактике : проект ведомственного приказа Министерства труда и социальной защиты РФ. URL : http://regulation.gov.ru/project/7736.html?point=view_project&stage=2&stage_id=4189 (дата обращения: 12.05.2014 г.).
9. Жуков В. В. Новый смысл пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 4–10.
10. Дубинин М. П., Жуков В. В. Возвращение в реальность. К вопросу управленческого понимания безопасности // Алгоритм безопасности. — 2013. — № 6. — С. 18–22.

Материал поступил в редакцию 22.05.2014 г.

**ВОПРОС:**

Прошу Вас дать разъяснения по вопросу размещения трансформаторных подстанций (ТП), распределительных устройств (РУ), распределительных подстанций (РП) и преобразовательных подстанций (ПП) в производственных корпусах, имеющих помещения со взрывоопасными зонами класса 2 по Федеральному закону № 123-ФЗ или В-Ia по ПУЭ (6-е изд.).

В п. 7.3.80 ПУЭ (6-е изд.) указано: *“РУ, ТП (в том числе КТП) и ПП допускается выполнять примыкающими двумя или тремя стенами к взрывоопасным зонам с легкими горючими газами и ЛВЖ классов В-Ia и В-Iб и к взрывоопасным зонам классов В-II и В-IIa.*

Запрещается их примыкание более чем одной стеной к взрывоопасной зоне класса В-I, а также к взрывоопасным зонам с тяжелыми или сжиженными горючими газами классов В-Ia и В-Iб”.

Таким образом, из этого пункта видно, что примыкание одной стеной к взрывоопасной зоне класса 2 (В-Ia) с тяжелыми или сжиженными горючими газами все-таки допускается.

В то же время в п. 7.3.83 отмечается, что *“РУ, ТП (в том числе КТП) и ПП, примыкающие одной стеной к взрывоопасной зоне, рекомендуется выполнять при наличии взрывоопасных зон с легкими горючими газами и ЛВЖ классов В-I, В-Ia и В-Iб и при наличии взрывоопасных зон классов В-II и В-IIa”.*

Нет ли противоречия между пп. 7.3.80 и 7.3.83 ПУЭ?

При проектировании требуется также выполнять п. 2.21 ведомственного документа ВУПП-88: *“Помещения ТП, РУ, РП, как правило, не должны располагаться в зданиях со взрывопожароопасными процессами. Размещение их в указанных зданиях возможно только в торцах и через разделяющую их вставку шириной не менее 6 метров, в которой должны располагаться невзрывопожароопасные помещения без постоянного пребывания в них производственного и ремонтного персонала”.*

Таким образом, данным документом ни при каких условиях не предусматривается примыкание помещений ТП, РУ и РП к помещениям со взрывоопасными зонами.

Следует также учитывать, что с момента введения в действие Федерального закона “О техническом регулировании” (№ 184-ФЗ от 27.12.2002 г.) многие нормативные документы, в том числе и ПУЭ (6-го изд.), стали носить рекомендательный характер.

Какими же документами должны руководствоваться проектные организации в своей работе при проектировании помещений ТП, РУ и РП?

ОТВЕТ:

С точки зрения обеспечения высокого уровня пожаровзрывобезопасности любого объекта в проект необходимо закладывать наиболее жесткие требова-

ния по размещению помещений ТП, РУ, РП и ПП в непосредственной близости от помещений со взрывоопасными зонами. Именно поэтому в ВУПП-88 [1] заложены повышенные требования по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

В проектной практике обычно придерживаются следующего принципа: если проектируемое здание относится к объектам, на которые распространяются требования указаний [1], то необходимо руководствоваться ими.

В ряде случаев выполнение п. 2.21 [1] может быть экономически нецелесообразно. Тогда допускается руководствоваться требованиями гл. 7.3 ПУЭ (6-е изд.) [2] при обосновании невозможности размещения помещений ТП, РУ и РП за пределами проектируемого здания или на указанном в п. 2.21 [1] расстоянии от взрывоопасного помещения.

Пп. 7.3.80 и 7.3.83 [2] не противоречат друг другу, если учитывать значения слов “*допускается*” и “*рекомендуется*” (см. п. 1.1.17 ПУЭ [2]).

Основной целью размещения ТП, РУ, РП и ПП в стороне от взрывоопасных помещений является предотвращение появления в них взрывоопасных сред. При примыкании помещения с потенциальным источником зажигания к помещению со взрывоопасной средой необходимо обеспечить между ними достаточную изоляцию. Данная необходимость может возникнуть, например, при прокладке проводов, кабелей и иных коммуникаций через стену между помещениями. В этом случае для изоляции одного помещения от другого следует руководствоваться требованиями: ПУЭ [2] (см. п. 7.3.85.4 и др.), инструкций по электромонтажным работам [3, 4], межгосударственного стандарта ГОСТ IEC 60079-14 [5], сводов правил [6, 7].

При монтаже следует обращать внимание на правильность устройства проходов труб и кабелей через стены и перекрытия из одного помещения в другое.

Герметизация технологических отверстий в общей для помещений стене осуществляется с помощью перегородок и закладок из материалов различного типа. Такие уплотнительные материалы должны иметь длительную устойчивость в условиях пожара (предел огнестойкости не ниже EI 45), не пропускать дым и огонь, сдерживать повышение температуры с противоположных сторон преграды, исключать выход взрывоопасной среды в соседние помещения.

Для предотвращения перехода взрывоопасных смесей по трубам из одного помещения в другое, а также для отделения и ограничения объема вводных устройств электрических машин, аппаратов, светильников и другого электрооборудования на трубах устанавливают разделительные уплотнения.

Проходы кабелей сквозь стены, перегородки и перекрытия следует выполнять через заделанные в них отрезки труб с уплотнением концов последних специальным составом. При этом в зонах класса 1 (В-I) уплотнение выполняют по обе стороны прохода, а в зонах классов 2 (В-Ia, В-Iб) — со стороны зоны, содержащей взрывоопасные смеси.

В зонах классов 1 (В-I), 2 (В-Ia, В-Iб), содержащих пары или газы с удельным весом более 0,8 по отношению к воздуху, кабельные каналы засыпают песком. При выходе кабельного канала из помещения наружу или его переходе в соседнее невзрывоопасное помещение (без устройства специальных уплотнений переходов) каналы засыпают песком на 1,5 м по обе стороны стены для устранения накопления взрывоопасных смесей.

Эти и другие мероприятия позволяют обеспечить изоляцию помещений ТП, РУ, РП и ПП от помещений со взрывоопасными зонами.

Проектные организации должны руководствоваться всеми вышеуказанными нормативными документами при проектировании ТП, РУ и РП в зданиях со взрывоопасными зонами и обосновывать выбор того или иного распределения помещений.

Указание в проектной документации перечня электромонтажных работ, необходимых для предотвращения появления взрывоопасной среды в помещениях ТП, РУ и РП, будет являться обоснованием возможности размещения ТП, РУ и РП внутри здания с примыканием к взрывоопасным помещениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ВУПП–88) : приказ Миннефтехимпрома СССР от 14.03.86 г. № 235; введ. 01.01.1988 г. — М. : Миннефтехимпром СССР, 1989.

2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 6-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1986.

3. Инструкция по монтажу электрооборудования в пожароопасных зонах № И 1.02–09. — Введ. 19.08.2009 г. — М. : Асс. “Росэлектромонтаж”, 2009.

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

5. ГОСТ ИЕС 60079-14–2011. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок. — Введ. 15.02.2013 г. — М. : Стандартинформ, 2013.

6. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС России от 24.04.2013 г. № 288; введ. 24.06.2013 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2013.

7. СП 6.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 21.02.2013 г. № 115; введ. 25.02.2013 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2013.

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



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать 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 неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). 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, Moscow, 119526, 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 (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. 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 общепотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать 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 dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — 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 периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye 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., Mullagalil I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniym gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursoberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya 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. *Posledneye pravitelstvo 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, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурсы:

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. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

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 orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [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 и карты 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 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 за публикацию работ с аспирантов не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

**ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»
ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ**

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.

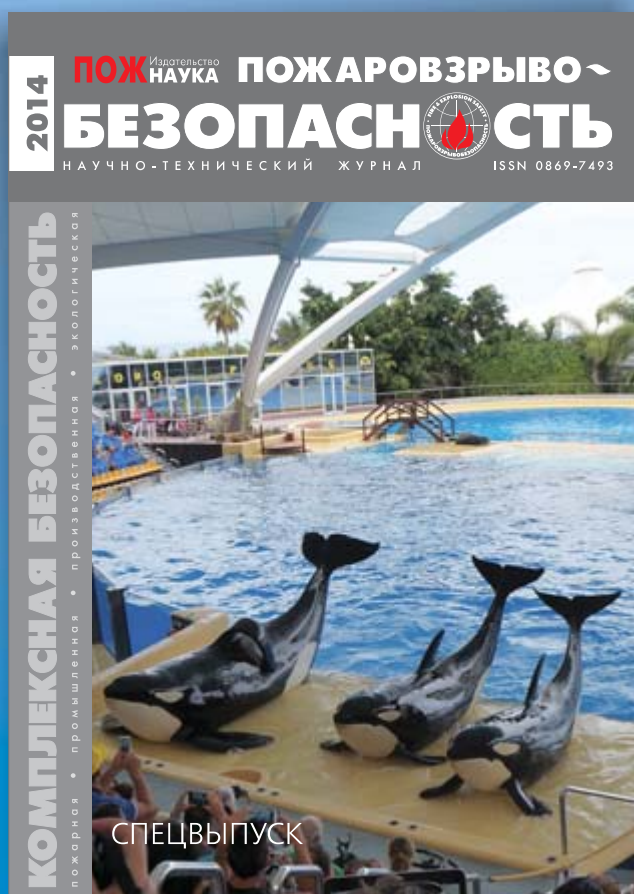
В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества. Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



**Web-сайт: firepress.ru
Эл. почта: mail@firepress.ru
Тел.: (495) 228-09-03**

ДОСРОЧНАЯ ПОДПИСКА

Для самых предусмотрительных



УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Оформите годовую подписку
в Издательстве до 30 ноября
на **20 %** дешевле
и получите ПОДАРОК —
электронную версию
специального выпуска
журнала за 2014 г.

E-mail: info@fire-smi.ru
www.fire-smi.ru
Тел.: +7 (495) 228-09-03

**Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку
на журнал “Пожаровзрывобезопасность”
на 1-е полугодие 2015 г.,
а также годовую подписку с 20 %-ной скидкой
(только до 30 ноября 2014 г.)!**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2015

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2015 г.)	5200		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2015 год при оформлении до 30 ноября)	8320		

- ☐ 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 отправки
Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите 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: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85**

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”



SfiteX

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ufi
Approved
Event

11–13 НОЯБРЯ 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА



РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- ⊗ Охранная сигнализация
- ⊗ Охранное телевидение и наблюдение
- ⊗ Системы контроля и управления доступом, идентификация
- ⊗ Системы и средства пожарной безопасности
- ⊗ Инженерно-технические, механические и электронные средства безопасности
- ⊗ Антитеррористическое и досмотровое оборудование
- ⊗ Системы связи и оповещения
- ⊗ Средства личной безопасности и экипировка
- ⊗ Гражданская защита и промышленная безопасность
- ⊗ Безопасность транспортных средств. Специальный транспорт. Средства обеспечения безопасности дорожного движения
- ⊗ Криминалистическая техника
- ⊗ Услуги

Организаторы:



ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД!

+7 (812) 380 6009/00

security@primexpo.ru

www.sfitex.ru