

6-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН СТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ЭКРАНИРОВАНИЕ
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПОЛИДИСПЕРСНЫМИ
ВОДЯНЫМИ ЗАВЕСАМИ





СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Юридический адрес: 142301, г. Чехов, Московская обл., Вишневый бульвар, 8

Почтовый адрес: 117465, г. Москва, а/я № 7

Тел/факс: +7 (495) 775-27-96; 984-07-96

E-mail: artsok@centro.ru, postmaster@artsok.com

http: www.artsok.com

Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008

Запорно–пусковые устройства (ЗПУ) МГП сертифицированы как соответствующие требованиям
Директивы безопасности Европейского Союза PED 97/23/EC



Модули МГП-16 емкостью от 2 до 100 л
на рабочее давление до 19,6 МПа (200 кгс/см²),
МГП-35 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 14,7 МПа (150 кгс/см²),
МГП-50 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 6,37 МПа (65 кгс/см²)
и батареи на их основе



Приборы
приемно-
контрольные
пожарные
и управления
ППКПУ 4/16
«АИСТ»



Стойки с весовыми устройствами
для МГП-16 и МГП-35



Модули изотермические для жидкой двуокиси
углерода (МИЖУ) емкостью от 3 до 28 м³
(стационарные и передвижные)



Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

ДЕШЕВЫХ Ю. И.
Жителям столичного региона повторения смога
опасаться не стоит

DESHEVYKH Yu. I.
Residents of Moscow and Moscow region shouldn't be afraid
of smog reoccurrence

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

ТОМАШКОВА М.
Пожар как важный фактор, влияющий на работу пожарных
АБДУРАГИМОВ И. М.
Еще раз о принципиальной невозможности выполнения
расчетов пожарных рисков детерминированными методами

TOMASHKOVA M.
Fire as important factor with impact on fireman activity
ABDURAGIMOV I. M.
Once again about impossibility to perform calculations of fire risks
by deterministic methods

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ГЛУШКОВ Д. О., ЗАХАРЕВИЧ А. В., СТРИЖАК П. А.
Определение кинетических параметров зажигания
диспергированного конденсированного вещества
при локальном нагреве

GLUSHKOV D. O., ZAKHAREVICH A. V., STRIZHAK P. A.
Determination of ignition kinetic parameters
for dispersed condensed substance
at local heating

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ Веществ и материалов

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

УШКОВ В. А., ЛАЛАЯН В. М.,
ЛОМАКИН С. М., НЕВЗОРОВ Д. И.
О влиянии неразлагающихся наполнителей
на воспламеняемость и дымообразующую способность
полимерных композиционных материалов

USHKOV V. A., LALAYAN V. M.,
LOMAKIN S. M., NEVZOROV D. I.
About influence of non-degradable fillers
for flammability and smoke-forming ability
of polymer composite materials

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

МЕЩЕРИН С. А., КИРИЛЛОВ И. А., КЛИМЕНКО С. В.
Метамоделю совместно используемого осознания ситуации
для управления стойкостью сооружений
повышенной ответственности

MESHCHERIN S. A., KIRILLOV I. A., KLIMENKO S. V.
Metamodel of shared situation awareness
for resilience management of built environment
with high responsibility

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

ХАФИЗОВ Ф. Ш., БАКИРОВ И. К., СУЛЕЙМАНОВ И. Р.
Влияние пенополиуретановой теплоизоляции,
нанесенной с внутренней стороны стенки вертикального
стального резервуара, на температурный режим стенки
в условиях горения

KHAFIZOV F. Sh., BAKIROV I. K., SULEYMANOV I. R.
Influence thermal insulation of polyurethane foam,
applied with the inside wall of the vertical steel tank,
on the temperatures wall
in burning

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

МУРЗИНОВ В. Л., ПАРШИН М. В., ПАРШИНА А. П.
Моделирование температурного режима пожара с учетом
работы вентиляции в негерметичном помещении

MURZINOV V. L., PARSHIN M. V., PARSHINA A. P.
Modeling of temperature in fire regimes with a view of the work
of emergency ventilation in permeable environment

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ШИХАЛЕВ Д. В., ХАБИБУЛИН Р. Ш.
Системы управления эвакуацией
в зданиях торгово-развлекательных центров

SHIKHALEV D. V.,
KHABIBULIN R. Sh.
Escape route systems at shopping malls

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

FIRE ENGINEERING

ДАШКО Л. В., ДОВБНЯ А. В.,
КЛЮЧНИКОВ В. Ю., ПЛОТНИКОВА Г. В.
Применение методов термического анализа
при исследовании влияния температуры
на фрикционную основу тормозных колодок автомобиля

DASHKO L. V., DOVBNYA A. V.,
KLYUCHNIKOV V. Yu., PLOTNIKOVA G. V.
Application of the methods of thermal analysis
in the study of the influence of temperature
on the friction basis of the brake of the car

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ВИНОГРАДОВ А. Г.
Экранирование теплового излучения
полидисперсными водяными завесами

VINOGRADOV A. G.
Heat radiation shielding by the polydisperse
water curtains

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

БЕЗРОДНЫЙ И. Ф.
Экология пожаротушения — пока это только слова...

BEZRODNYY I. F.
Fire ecology — these are just words...

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Повторения смога опасаться не стоит



Стр. 5

Стр. 8

Важный фактор, влияющий на работу пожарных



Пенополиуретановая теплоизоляция резервуаров



Стр. 52

Стр. 68

Термический анализ тормозных колодок

Стр. 74



Экранирование водяными завесами

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

Корольченко Д. А., к. т. н. (Россия)

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

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

121352, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 10.06.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



Founder:
"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:
Editor-in-Chief **Korolchenko A. Ya.**
Editorial director **Sokolova N. N.**
Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:
Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia
Phone/Fax: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85
E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress
Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

"Pozharovzryvobezopasnost"
("Fire and Explosion Safety") is included
in List of periodical scientific and technical
publication of the Russian Federation,
what are recommended for publishing
the main results of competitors for doctoral
degree by VAK, in Abstracting Journal
and VINITI Database RAS, is included
in Russian Citation Index Database.
Information about the journal is annually
published in "Ulrich's Periodicals Directory".
No part of this publication may be used
or reproduced in any form or by any means
without the prior permission of the Publishers.
Reproducing any part of this material
a reference to the journal is obligatory.
Authors and advertisers account for contents
of given papers and for publishing
in the open press. Opinion of Editorial Staff
not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 10.06.2013
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

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

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

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

Barbin N. M.,
Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

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

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

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

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

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

Roytman V. M.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy
of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex
Safety (Russia)

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

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

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

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

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

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

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

Shebeko Yu. N.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science (Russia)

Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)

МЧС РОССИИ

информирует



ЖИТЕЛЯМ СТОЛИЧНОГО РЕГИОНА ПОВТОРЕНИЯ СМОГА ОПАСАТЬСЯ НЕ СТОИТ

В преддверии сезона природных пожаров глава Департамента надзорной деятельности МЧС России **Юрий Дешеви**х рассказал, как спасательное ведомство готовится противостоять стихии.

Юрий Иванович, впереди лето — наиболее опасный сезон с точки зрения угрозы природных пожаров. Известно, что лучшее средство защиты — это профилактика. Расскажите, как МЧС готовится к летнему сезону?

Природные пожары, охватившие центральную Россию летом 2010 года, стали серьезным испытанием для всей системы межведомственного взаимодействия в экстремальных ситуациях. С одной стороны, система сработала относительно эффективно, и страшных трагических последствий удалось избежать, а с другой — мы увидели ее «болевые точки», поняли, какие вопросы еще нуждаются в проработке. Из той ситуации мы сделали серьезные выводы и на их основе внесли в программу профилактики и борьбы с лесоторфяными пожарами ряд корректировок, которые позволят избежать повторения подобного разгула стихии в дальнейшем.

Первые элементы этой работы мы опробовали в 2011 году и получили положительный результат. Удалось не допустить перехода огня на лесные поселки и уберечь от него тысячи населенных пунктов, расположенных в пожароопасной зоне. Тем не менее мы решили не останавливаться на достигнутом и годом позднее еще более усовершенствовали нашу методику. Поэтому на сегодняшний день в преддверии очередного пожароопасного сезона мы работаем, уже используя тот опыт, который был накоплен в предыдущие годы.

В первую очередь, мы улучшили законодательную базу. Четко определили сферы ответственности различных федеральных органов власти за тушение лесных пожаров, обязанности региональных и местных властей. Подготовили инструкции, в которых четко прописали, кто чем занимается, для того чтобы избежать трагических последствий, если природный пожар выйдет из-под контроля.

Изменения коснулись и профилактической работы. На сегодняшний день в рамках операции по подготовке к летнему пожароопасному периоду мы взяли на учет около 8 тыс. населенных пунктов и

около 4 тыс. садоводческих участков, которые потенциально подвержены угрозе лесоторфяных пожаров. Инспекторам пожарного надзора предстоит проверить, насколько хорошо местные власти подготовили эти населенные пункты к опасному сезону. При этом контроль будет выборочным, с учетом климатических условий, которые характерны для той или иной местности. К тому же в непосредственной близости от лесов расположено множество социально значимых построек и критически важных для национальной безопасности объектов. Их нам тоже предстоит проверить. Всего на сегодняшний день инспектора побывали более чем в 2 тыс. населенных пунктов, а также осмотрели порядка тысячи садоводческих хозяйств. Проверено свыше 1 тыс. социально значимых объектов.

В ходе проверок мы прежде всего смотрим на наличие средств пожаротушения. Например, имеются ли вблизи объекта источники противопожарного водоснабжения — специальный водоем или наружный водопровод. Требования варьируются в зависимости от множества факторов. Так, если для населенного пункта, в котором проживает свыше 50 человек, требуется противопожарный водоем, то для





критически важного объекта нужна уже современная система пожаротушения с соответствующими насосами и достаточным количеством воды.

Насколько эффективно регионы смогут противостоять природным пожарам? Каковы первые результаты проверок? Какие субъекты можно отнести к числу отстающих?

Работа на местах ведется эффективно и достаточно быстрыми темпами. Власти на местах чаще всего осознают ответственность и стараются своевременно провести подготовительную работу, выполнять предписания Госпожнадзора. В бюджетах большинства регионов уже зарезервированы средства на подготовку к пожароопасному сезону, заключены договоры с соответствующими организациями, располагающими необходимой техникой, т. е. подготовка в разгаре.

Однако некоторые субъекты по тем или иным причинам пока подготовились хуже других. Достаточно сказать, что в Северо-Западном федеральном округе неготовыми признаны 54 % населенных пунктов, в Дальневосточном — 40 %, в Приволжском — 37 %. По отдельным регионам худшие показатели готовности отмечены пока у Башкирии, Ненецкого автономного округа, Псковской, Нижегородской, Самарской, Ленинградской и Оренбургской областей. Тем не менее у них еще есть время исправить недочеты. Так, во многих регионах еще лежит снег, да и крайние сроки еще не подошли. Надеемся, что подготовительная работа в большинстве регионов будет завершена в первой половине мая, а на севере страны — к концу месяца.

Нередко в ходе проверок мы сталкиваемся и с недобросовестностью отдельных руководителей, а также граждан на местах. Только в преддверии нынешнего пожароопасного сезона по результатам проверок к административной ответственности пришлось привлечь свыше 200 юридических лиц, среди них 87 органов местного самоуправления, а также 756 должностных лиц, в том числе 284 местных чиновника.

Штрафуем и отдельных граждан, которые безответственно относятся к пожарной безопасности в лесах. В этом сезоне их число уже превысило 400 человек.

Каковы прогнозы? Стоит ли ждать жителям Центральной России или других регионов повторения смога, окутавшего столицу летом 2010 года? Что должны предпринять сами жители во избежание этого?

В 2010 году была зафиксирована уникальная природная аномалия. В течение двух месяцев практически не выпадали осадки. Сильная засуха и нетипичная для центра России жара привели к резкому росту пожарной опасности в лесах, огонь пошел и по залежам торфяников, что еще больше осложнило ситуацию. Что касается нынешнего лета, то аномально жарким оно стать не должно. Мы постоянно находимся на связи с Гидрометцентром. Синоптики заверяют нас, что летом в основном погода будет близка к средне-статистическим показателям. Жителям столичного региона повторения смога опасаться не стоит. Ни серьезных лесных, ни торфяных пожаров на подступах к Москве не прогнозируется. Не говоря уже о том, что в этом году мы гораздо лучше подготовлены, чем три года назад.

Тем не менее есть ряд регионов, которые вызывают у нас беспокойство. Предстоящим летом ожидается превышение среднестатистических температур в Магаданской области, Ханты-Мансийском автономном округе, Калининградской, Мурманской, Оренбургской, Самарской, Саратовской, Липецкой, Астраханской, Волгоградской областях, а также в Пермском и Краснодарском краях, Карачаево-Черкесии.

Конечно, эта угроза несравнима с той, с которой мы столкнулись в 2010 году, но пренебрегать ею не стоит. Поэтому с учетом такого прогноза мы строим планы реагирования и уже подготовили алгоритм действий, которому должны следовать все звенья системы межведомственного взаимодействия, чтобы избежать трагических последствий.

К тому же в этом году мы развернули масштабную пропагандистскую работу среди населения. На конкретных примерах показываем и объясняем, что можно делать в лесах, а что — нельзя. Рассказываем, почему вреда от сжигания травы больше, чем пользы, а также чем может обернуться обыкновен-





ное разведение костров и курение на природе, особенно в жаркие дни. Люди должны руководствоваться не страхом перед штрафом или иным наказанием, а осознавать, какой урон они могут нанести необходимыми действиями в лесу себе и своим близким.

Одновременно мы проводим занятия по правилам поведения в экстремальных ситуациях с жителями населенных пунктов, расположенных в пожароопасной зоне, чтобы в случае пожара они не растерялись, а четко знали, как действовать до прибытия пожарных.

Какие современные технологии использует МЧС России для борьбы с природными пожарами? Применяется ли робототехника?

Применение высоких технологий значительно повышает эффективность нашей работы. Несмотря на немалую стоимость, на современном этапе было бы неверно пренебрегать ими. На сегодняшний день мы входим в число стран, наиболее активно использующих космические разработки для профилактики природных пожаров.

Нами хорошо отработана технология космического мониторинга очагов возгорания, находящихся еще в зачаточном состоянии. Как только мы получаем данные со спутника о возникновении новой термоточки*, мы имеем возможность незамедлительно проинформировать об этом органы местного самоуправления. Ведь они не всегда располагают оперативными сведениями, особенно если регион большой и большую его часть занимает непроходимая тайга. А ведь территория страны огромная, и следить за каждым гектаром сотрудника Рослесхоза не поставишь. Таким образом, от своевременного информирования зависит очень многое. Благодаря этой системе почти 70 % возникающих природных пожаров тушатся в день обнаружения, на начальной стадии их развития.

* Термоточка — вероятный очаг возгорания, который фиксируется космическими спутниками.

Кроме того, нашими конструкторами одними из первых в мире создан уникальный робототехнический комплекс, который позволяет удаленно тушить лесоторфяные пожары, без риска для жизни огнеборцев. Пусть пока число этих комплексов не так существенно, а стоимость их высока. Тем не менее мы используем их для тушения критически важных объектов. И они неоднократно показывали свою эффективность как в 2011, так и в 2012 годах.

Хотелось бы отметить и тот факт, что проблема природных пожаров актуальна не только для нашей страны. Мы внимательно следим за аналогичными возгораниями в Европе, Китае и других странах. С учетом этого наш опыт часто бывает востребован зарубежными коллегами, и мы всегда откликаемся, всегда оказываем помощь.

Почти два года прошло после начала массового создания в России добровольных пожарных дружин. Какова численность этих подразделений на сегодняшний день? Планируется ли ее наращивать? Насколько эффективно они справляются с возложенными на них задачами?

На сегодня могу сказать одно: инициатива по созданию таких дружин на деле доказала свою эффективность. Уровень профессионализма добровольцев я оцениваю достаточно высоко. Большинство из тех природных пожаров, что удается ликвидировать в день обнаружения, — заслуга волонтеров и тех граждан, что проживают в непосредственной близости от очага возгорания.

Когда мы создавали добровольную пожарную охрану, то не ожидали, что люди окажутся настолько неравнодушными и инициативными. Надо сказать, что еще до принятия соответствующего закона в нашей стране уже насчитывалось более 80 тыс. добровольных пожарных. Однако появление законодательной базы послужило толчком к развитию этого движения, и за два года численность добровольцев выросла в 10 раз. На сегодняшний день количество изъявивших желание стать добровольными пожарными составляет около 800 тыс. человек. Конечно, не все из них готовы участвовать в тушении пожаров. Часть из них только учится этому. Тем не менее уже сегодня мы вышли на советские показатели, когда количество пожаров, потушенных добровольцами, в целом по стране приближалось к 15 %. А ведь тогда на пропаганду и развитие добровольческого пожарного движения выделялись гораздо большие средства, чем сейчас. Думаю, что и на этом мы останавливаться не станем, а будем развиваться дальше.

*По материалам интервью Ю. И. Дешевых
информационному агентству "Интерфакс",
подготовленного в апреле 2013 года*

М. ТОМАШКОВА, д-р техн. наук, доцент кафедры безопасности и качества продукции, Технический университет в г. Кошице, Словакия
(e-mail: marianna.tomaskova@tuke.sk)

УДК 614.841

ПОЖАР КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА РАБОТУ ПОЖАРНЫХ

Указаны возможные последствия невыполнения требований пожарной безопасности и недостаточной профилактики пожаров, в том числе ущерб, наносимый пожаром материальным ценностям. Показана экономическая эффективность профилактики пожаров по сравнению с прямым или косвенным ущербом, который может причинить пожар; подчеркнуты значение и важность профилактики пожаров.

Ключевые слова: пожар; пожарный; риск-фактор; причина и следствие; ущерб от пожара.

Введение

Пожар — это всякое нежелательное горение, которое влечет за собой гибель или травмы людей и животных, а также наносит материальный ущерб. Пожаром считается также любое возгорание, ставящее под угрозу человеческую жизнь, создающее опасность для животных, материальных ценностей и окружающей среды.

Под *противопожарной профилактикой* понимаются инженерно-технологические решения, которые включают проектную документацию, организационные требования, применяемые материалы, пожарно-технические средства и многие другие меры и мероприятия, ведущие к снижению риска возникновения пожара и минимизации последствий и материального ущерба от него.

Идеальную схему развития пожара представляет собой моделируемый пожар, который характеризуется следующими параметрами:

- скоростью выделения тепла;
- интенсивностью образования дыма;
- площадью пожара;
- температурой газов в пространстве;
- временем максимального развития пожара [1].

Для определения процесса протекания моделируемого пожара (возникновения и развития пожара и движения продуктов горения) можно начать с определения областей, которые взаимодействуют друг с другом, а именно с оценки состояния строительных конструкций во время пожара, выбора противопожарного оборудования, а также определения условий безопасной эвакуации людей.

Система противопожарной защиты включает пять подсистем:

- СС1 — возникновение и развитие пожара и образование продуктов горения;
- СС2 — движение продуктов горения;

- СС3 — поведение строительных конструкций при пожаре;
- СС4 — обнаружение и тушение пожара;
- СС5 — безопасность людей.

1. Процесс развития пожара в замкнутом пространстве (внутри строительных объектов)

Развитие пожара в замкнутом пространстве чаще всего начинается с точечного очага воспламенения, который находится на полу в помещении, и характеризуется скоростью выделения энергии и образованием продуктов горения. Скорость распространения газообразных продуктов горения переменна во времени и нарастает по мере увеличения разницы между температурой и плотностью продуктов горения и окружающей среды, в результате чего возникает “эффект подъемной силы”. Если поднимающийся столб горячего газа достигает потолка, образуется подпотолочный слой продуктов горения, который постепенно заполняет подпотолочное пространство.

Таким образом создается пограничный слой между *горячим слоем*, который нагревается восходящим потоком продуктов горения с места пожара, и *нижним слоем*, который охлаждается притоком холодного воздуха с наружной стороны объекта через отверстия.

К опасным факторам пожара относятся:

- **Продукты горения.** Причиной большинства смертельных случаев при пожаре является удушье продуктами горения. Состав продуктов горения и их количество зависят от химического состава горючих материалов, типа и количества окислителя.
- **Недостаток кислорода.** В воздухе в нормальных условиях содержится 21 % кислорода, но при

пожаре содержание кислорода в продуктах горения снижается до 14–10 %, а иногда и ниже 10 %. В этом случае возникают проблемы с дыханием и недостаточной насыщенностью крови кислородом.

- **Пламя.** Это основная составляющая горения горючих газов в открытом пространстве. При недостатке кислорода выделяются горючие газы, но это происходит вне зоны, в которой развивается пожар. Поток газов способствует распространению огня на значительное расстояние от очага пожара и ставит под угрозу жизни людей.
- **Тепло.** Это продукт пожара, который имеет с точки зрения развития последнего основное значение. Температура продуктов горения может достигать 1000 °С и более. Температура полностью развитого пожара всегда превышает 500 °С.

2. Классификация пожаров

Пожары класса А. Это пожары, связанные с горением или тлением твердых горючих материалов (древесина, бумага, солома, уголь, текстиль). Вода, являясь основным средством для тушения пожаров класса А, используется для охлаждения или эффективного снижения температуры горящего материала до значения ниже температуры его воспламенения. В целях повышения эффективности использования воды в качестве огнетушащего средства рекомендуется применять смачиватели, которые смешиваются с водой в небольшом количестве (приблизительно 0,5 %) и снижают поверхностное натяжение воды, в результате чего повышается проникающая способность воды, в том числе в глубокие слои лежащего навалом материала.

Пожары класса В. Это пожары, вызванные горением горючих жидкостей, например бензина, масла, лака, спирта. Наиболее эффективным методом тушения является применение химических огнетушащих веществ (ОТВ), например огнетушащего агента Halotron I или пены. Очень эффективны также огнетушащие порошки.

Пожары класса С. Это пожары, связанные с возгоранием горючих газов, например метана, пропана, светильного газа, водорода. Наиболее эффективными огнетушащими веществами считаются углекислый газ, огнетушащие порошки, а в некоторых случаях и вода.

Пожары класса D. Это пожары, связанные с возгоранием горючих металлов, например алюминия и магния. Эти материалы представляют особую опасность, поскольку находятся в порошковой форме. Из-за экстремально высокой температуры горения некоторых металлов для тушения применяют воду и другие ОТВ. Обычно используемые для тушения

огнетушащие агенты теряют свою эффективность при тушении пожаров данного класса.

3. Пожарный-спасатель

Среда, в которой работают пожарные, имеет агрессивный характер, поэтому крайне необходимо обеспечить защиту пожарного от ее агрессивного воздействия, приняв меры по защите жизненно важных функций его организма. Для этого служат приспособления и средства индивидуальной защиты (СИЗ), которые должны защищать пожарного от опасности, не угрожая его здоровью, не мешая выполнению работы, и при этом отвечать требованиям, установленным в нормативных актах (например, в постановлении правительства № 395/2006, EN и др.).

Выбор отдельных типов СИЗ проводится в зависимости от риска:

- которому подвергается пожарный в процессе выполнения своей работы;
- который представляют собой СИЗ;
- связанного с неправильным использованием СИЗ.

Выбору СИЗ должны предшествовать тщательный анализ и оценка рисков на рабочем месте, потому что неправильная оценка риска может впоследствии не только подвергнуть здоровье и жизнь людей опасности, но и нанести значительный материальный ущерб. Профессия пожарного-спасателя, безусловно, одна из самых опасных. Спасатели сталкиваются с человеческим горем, смертью, угрозой их собственной жизни и здоровью. К ним предъявляются высокие требования, касающиеся уровня их профессионализма, состояния здоровья и психики.

4. Пожар многофункционального объекта*

В 2007 г. началось строительство здания многофункционального спортивно-культурного комплекса недалеко от центра отдыха “Аквапарк Татралан-дия” в г. Липтовский Микулаш (рис. 1). Объект комплекса имел размеры в плане 57×58 м. На первом надземном этаже объекта были кирпичные пристройки, где находились и входы в объект.

Помещения на первом надземном этаже были размещены по всей южной и северной стороне дугообразной конструкции постройки. Между указанными пристройками внутри объекта в центре находилась многофункциональная площадка, от которой

* Речь идет о пожаре, который по своим масштабам был вторым в Словакии за последние 5 лет. Самый крупный пожар произошел в замке Красная Гора в 2012 г. В результате пожара замок был сильно поврежден, но теперь интенсивно восстанавливается. Об этом событии будет также рассказано автором на страницах журнала позже. Видеоинформация об этом доступна по адресу: <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-17330120>.



Рис. 1. Объект в начале строительства

вели запасные выходы на восточную и западную стороны. Кровельное покрытие было выполнено по деревянной обрешетке с использованием контрбрусев, пленки JUTAFOL, кровельных сэндвич-панелей с древесностружечной обрешеткой и полиэтиленовым наполнителем, стропил, гипсокартона, акустической изоляции ROTAFLEX SUPER, полиэтиленовой микропленки, горизонтальными балками и обрешеткой из шпунтованных досок. Щели между панелями были заполнены полиуретановой пеной. На северной стороне крыши были установлены крышные окна. Торцевые стены на западной и восточной сторонах объекта были выложены из кирпича до высоты первого надземного этажа; верхняя часть стены была выполнена из дерева как рамная конструкция с теплоизоляцией. С наружной стороны деревянная конструкция была покрыта обшивкой из досок, а с внутренней стороны — из древесноволокнистых досок со звукоизолирующей деревянной обшивкой [2].

В день пожара начался монтаж кровельного покрытия, торцевых окон, системы отвода дождевой воды, включая крышные окна.

По словам работника, ведущего монтаж покрытия на крыше, пожар возник так. Он проводил сварку швов между отдельными лентами водоизолирующего покрытия на крыше. Приподнимая нижнюю изоляцию на стыке на ширину приблизительно 3 см, он нагревал ее и затем придавливал ее край шпателем. Когда он дошел до пристройки, вылез по канату на гребень крыши и начал нагревать очередную ленту, то заметил, что с того места на крыше, которое он перед тем изолировал, идет дым (рис. 2). Ра-

бочие сорвали изоляцию на крыше, и из-под сорванного куска изоляции выбился столб пламени. Потушить пожар не удалось. Рабочие сбросили с крыши опасные материалы, такие, например, как пропанбутановые баллоны, и покинули крышу.

Причины возникновения пожара и его развитие

Причин пожара, возникшего в многофункциональном центре, может быть несколько.

1. Возможна неисправность электропроводки и неправильная эксплуатация электрооборудования. Но поскольку на стройке использовалась временная электропроводка, причем только в помещениях на первом этаже постройки, для питания электрооборудования, а в крышном и подкрышном пространстве объекта электропроводки не было, то данная причина возникновения пожара исключена.

2. Вероятной причиной возникновения процесса горения материалов крыши могло быть проникновение пламени от газовой горелки при нагревании рубероидной ленты под обрешетку кровельного покрытия, что могло вызвать возгорание.

На распространение пожара в начальной стадии повлиял и тот факт, что огонь дошел до сэндвич-слоя кровельного покрытия, поэтому определить место расположения очага пожара было невозможно.

Быстрое распространение огня произошло из-за использования горючих материалов в конструкции крыши (деревянная несущая конструкция, кровельные сэндвич-панели с изоляционным материалом, деревянная обрешетка, обшивка и поверхностный изоляционный кровельный материал).

При выяснении причин возникновения пожара на крыше строящегося многофункционального объекта не были выявлены ни нарушения правил пожарной безопасности со стороны рабочих, проводивших кровельные работы, ни нарушение технологического процесса настилки рубероидных лент.

Возможная прибыль, которую компания “Аквапарк Татрландия” потеряла в результате пожара в строящемся многофункциональном объекте 29 апреля 2008 г., можно приблизительно вычислить исходя из средней посещаемости аквапарка на данное время. Цена одного билета составляла 15 евро, что



Рис. 2. Развитие пожара в многофункциональном объекте [2]



Рис. 3. Техника, использованная при тушении пожара в многофункциональном объекте [2]

Таблица 1. Ущерб, нанесенный пожаром в многофункциональном объекте

Вид ущерба	Размер ущерба, евро
Прямой ущерб от сгоревшего объекта	1 659 696
Потерянная прибыль	75 000
Итого	1 734 696

Таблица 2. Затраты на техническое обеспечение пожарной безопасности на стройке

Пожарная техника	Затраты, евро
Огнетушитель F1G	65
Огнетушитель P6F/ETS	90
Итого	155

является средней стоимостью между ценой билетов на целый день для взрослых и ценой билета для детей (ростом от 90 см до 1 м 40 см).

В табл. 1 указаны данные по ущербу, связанному с прямыми и косвенными финансовыми потерями. В ходе тушения пожара произошло повреждение пожарной техники, принадлежащей пожарной части ПСЧ г. Липтовский Микулаш (рис. 3).

Пожар строящегося спортивного многофункционального комплекса стал одним из самых крупных за 2008 г. Такого значительного ущерба, причиненного вследствие пожара, могло бы и не быть, если бы рабочим на стройке удалось самостоятельно погасить его своими силами, поскольку они были ознакомлены с мерами безопасности и охраны труда и защиты от пожара, и если бы не было сложностей, затрудняющих действия пожарной бригады по тушению пожара.

Из табл. 2 видно, что для удовлетворительной технической защиты объекта от пожара при работе с открытым огнем необходимо было затратить материальные средства в сумме приблизительно 155 евро. Кроме того, достаточно было обеспечить нормальную работу сети гидрантов, которые бы позволили пожарным справиться с пожаром намного быстрее (рис. 4). Халатное отношение к профилактике пожарной безопасности проявилось особенно в том, что, несмотря на просьбу рабочего предоставить ему шланг для подачи воды при работе с открытым огнем,



Рис. 4. Тушение локальных очагов внутри постройки [2]



Рис. 5. Последняя фаза тушения пожара в многофункциональном объекте [2]

этого так и не было сделано, и стройка таким образом оказалась отрезанной от какого-либо источника воды.

Если бы вышеуказанные материальные средства были затрачены, а работники, ответственные за профилактику, осознавали бы последствия возможного пожара и предприняли необходимые меры для обеспечения работы сети гидрантов и проведения работ с открытым огнем, почти наверняка удалось бы локализовать пожар на начальной стадии и не допустить его дальнейшего распространения, минимизируя тем самым причиненный ущерб.

Следует отметить, что если сравнить ущерб, нанесенный пожаром, с затратами, необходимыми на его профилактику, то финансовые затраты на профилактику составят лишь 0,01 % прямого ущерба, нанесенного пожаром. Однако необходимо созна-

вать, что прямой ущерб не является единственным последствием пожара (рис. 5).

Профилактика пожаров является эффективным инструментом, способствующим повышению пожарной безопасности, причем затраты на ее обеспечение большей частью представляют собой сравнительно небольшую часть от общего ущерба, нанесенного пожаром.

Нужно понимать, что нулевого риска возникновения пожара не существует, и именно профилактика

является тем инструментом, который способствует снижению пожарной опасности и в значительной мере помогает пожарным оперативно действовать при тушении пожара для уменьшения ущерба как от него, так и от последствий его тушения.

Статья подготовлена в рамках проекта VEGA № 1/0107/12 "Исследование процессов управления рисками механизмов и технических систем".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kucera P., Kaiser R., Pavlik T., Pokorný J. Požární inženýrství — dynamika požáru. — Praha, Edice SPBI Spektrum, 2009. — 152 p. [Пожарная техника — динамика пожара. — Прага : Изд. SPBI спектр, 2009. — 152 с.].
2. Malicek M. Prevencia požiarov ako nástroj na zlepšovanie požiarnej ochrany: Diplomová práca. — Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, katedra bezpečnosti a kvality produkcie, 2008 [Профилактика пожаров для улучшения противопожарной защиты : тезисы диплома. — Технический университет в г. Кошице, машиностроительный факультет, кафедра безопасности и качества продукции, 2008].

Материал поступил в редакцию 30 января 2013 г.

English

FIRE AS IMPORTANT FACTOR WITH IMPACT ON FIREMAN ACTIVITY

TOMASHKOVA M., Doctor of Technical Science, Associated Professor of Department of Safety and Production Quality, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University in Kosice (Letna 9, SK-042 00 Kosice, Slovakia; e-mail address: marianna.tomaskova@tuke.sk)

ABSTRACT

The main purpose of this article is to demonstrate the possible extensive consequences in the area of safety, as well as material damages caused due to a fire, which has arisen as a result of insufficient preventive measures. The second task is to emphasise an economical efficiency of the fire prevention in comparison to the direct or indirect damages that are caused due to the fire and in this way to point out an importance of the fire prevention. The first part of this paper describes four basic phases of the fire; together with the selected risk factors occurring during the fire, as well as it presents a classification of fires. The second part of this article describes a real example of the concrete fire of a multi-functional public hall. This fire incident became in a Slovak city recently. The hall was specified for organising of various cultural and sporting events in an aquapark-relaxation-land and due to the fire it was fully destroyed. The building damages were enormous. The final part of this article explains causes of this fire.

Keywords: fire; fireman; risk factor; cause and consequence; damage.

REFERENCES

1. Kucera P., Kaiser R., Pavlik T., Pokorný J. *Fire engineering — dynamics of fires*. Prague, Edition SPBI Spektrum Publ., 2009. 152 p. (in Slovak).
2. Malicek M. *Prevention of fires as a tool for improvement of the fire protection: diploma theses*. Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Safety and Production Quality, 2008 (in Slovak).

И. М. АБДУРАГИМОВ, д-р техн. наук, профессор, академик НАНПБ, полковник внутренней службы, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5/1; e-mail: niipx@yandex.ru)

УДК 614.841.2

ЕЩЕ РАЗ О ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ НЕВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ

Представлены доказательства принципиальной невозможности расчета пожарных рисков методами математического описания параметров внутренних пожаров твердых горючих материалов (ТГМ) по численным значениям опасных факторов пожара. Доказано, что основные параметры динамики внутренних пожаров ТГМ (линейная скорость распространения пожара, площадь пожара, массовая скорость выгорания горючей нагрузки, количество и состав продуктов сгорания при внутренних пожарах ТГМ и др.) известны современной науке о горении с погрешностью не менее $\pm(150-300)$ %. Поэтому принципиально невозможен расчет значений ОФП и пожарного риска с ошибкой менее $\pm(500-1000)$ %. Тем самым доказана полная непригодность Методики расчета пожарного риска для оценки уровня пожарной безопасности объектов, утвержденной приказом МЧС России № 283, и необходимость немедленной отмены этого приказа о введении данной методики в практику расчета пожарных рисков.

Ключевые слова: пожар; пожарный риск; опасные факторы пожара; динамика развития внутреннего пожара; математические методы описания.

Введение

Почти из 250 публикаций по пожарной безопасности (из них более 18 вышло в 2012 г. — столько накопилось не опубликованных за последние 5–6 лет работ) эта статья оказалась самой трудной (и по написанию, и по проблемам, связанным с ее опубликованием).

За долгие (и довольно трудные!) годы Советской власти мы привыкли к празднованию Дня пожарной охраны 17 апреля! Дата абсолютно сомнительная, как даты почти всех советских праздников, но привычная и “традиционная”. В последние годы меня (видимо, скорее из уважения к возрасту, чем по заслугам) поздравляют с Днем пожарной охраны 3–4 раза в год! Меня лично, пожалуй, так часто — не за что, а вот тех “невидимых в дыму” пожара бойцов и офицеров, которые непосредственно тушат десятки тысяч пожаров в год, можно и чаще!!!

По крайней мере, в Америке пожарным ежегодно (!) выдают 12 высших государственных наград страны, и вручает их лично Президент (а в период его отсутствия — 1-е лицо, его замещающее, и, как ни странно, этим лицом оказывается... министр торговли!). А у нас в России пожарным высшие награды Родины вручаются один раз в 5–10 лет, да и то по одной (и, как правило, ПОСМЕРТНО!). Так что пусть они хоть празднуют свой “сомнительный”, но светлый праздник и 3, и 4 раза в год! А вот про “чер-

ный день” пожарной охраны, видимо, не знает (или, по крайней мере, не говорит) почти никто! А такой день есть. И это, пожалуй, 22 июля 2008 г. — день принятия Федерального закона № 123 [1]. И дело не в том, что его принимали в “пожарном порядке” (8 июля он был принят Госдумой, 11 июля — Советом Федерации, а уже 22 июля подписан Президентом!!!), а в том, сколько и каких новых проблем возникло с принятием этого “скороспелого” и, как обычно, непроверенного, необсужденного, “необкатанного” закона [2] (помните В. С. Черномырдина: “Хотели как лучше, а получилось как всегда”? А он понимал толк в этих делах и имел большой опыт по этой части!).

Однако оставим пока все нелепости и курьезы, порожденные этим законом и его последствиями. Остановимся только на одном, но чреватом самыми длительными и самыми тяжелыми последствиями — приказе МЧС России от 30.06.2009 г. № 283, подписанном Министром Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий С. К. Шойгу [3]. Оставляя опять же (для краткости) на будущее анализ всех курьезов, ошибок и нелепостей этой методики, отметим главное: она принципиально невыполнима и непригодна для практического применения. Вот этому и посвящена данная статья.

1. Отклики и реакция специалистов на Методику расчета индивидуального пожарного риска

По содержанию и смыслу этого приказа [3] и утвержденной им Методики вся тяжесть проблемы оценки достаточности мер обеспечения уровня пожарной безопасности при “внутренних” пожарах в зданиях и сооружениях (на которые, по данным российской и мировой статистики, приходится более 90 % всех жертв пожаров ежегодно [4–6]) сводится к расчету величины индивидуального пожарного риска на данном объекте. А он, в свою очередь, сводится, главным образом, к сопоставлению двух главных величин — расчетного времени эвакуации из оцениваемого помещения или объекта при пожаре и времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (ОФП) на данном объекте при пожаре. И если расчетное время эвакуации условно, с той или иной степенью точности, можно заранее определить расчетным путем, то время блокирования эвакуационных путей ОФП по их предельно допустимым значениям и по описанию динамики пожара в зданиях и сооружениях определить расчетным путем в принципе невозможно!

Негативные отклики на эту методику стали поступать уже в первый год после ее введения. А после того как “независимый пожарный аудит” стал массовым (и довольно доходным), но чрезвычайно опасным по своим последствиям явлением, публикации по обсуждению и осуждению такого подхода к обеспечению пожаровзрывобезопасности объектов стали более острыми и более негативными.

Наиболее убедительными и доказательными мне представлялись работы [2, 4–6] и др. Наглядность и убедительность аргументации этих статей сделали неактуальной публикацию моих замечаний по этой методике. Цитирую: “Авторы настоящей статьи провели тщательный анализ только некоторых статей Технического регламента, выявили их полную несостоятельность и ошибочность и предлагают способы устранения ошибок” [6]. Ну, что еще после этого можно сказать? И далее: “Так, в ст. 6 п. 1 говорится: “Пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если: 1) в полном объеме выполнены обязательные требования пожарной безопасности, установленные федеральными законами о технических регламентах (само по себе это утверждение весьма спорно, поскольку не принят предложенный мной ранее “принцип разумной достаточности” в обеспечении требуемого уровня ПВБ. — *Прим. авт.*); 2) если пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим федеральным законом! Эта вполне разумная концепция пожарной безопасности предполагает, во-первых, наличие достаточно обоснованного до-

пустимого значения пожарного риска (а его в российских нормативных документах нет! Оно совершенно бессмысленно занижено в 100–150 раз!!!) по сравнению с данными даже официальной статистики гибели людей на пожарах в России, которая, в свою очередь, на 25–30 % занижена по сравнению с реальными, фактическими потерями! — *Прим. авт.*) и, во-вторых, существование надежных методов вычисления значений реальных пожарных рисков для различных объектов защиты.

К сожалению, с выполнением этих двух условий дела пока обстоят неблагоприятно” [6]. Это сказано авторами “очень деликатно”, если не сказать “просто неправильно”. Но об этом чуть ниже. И далее: “К этому нужно добавить, что в 2010 г. 72 % всех погибших на пожарах в России стали жертвами воздействия продуктов горения, 9 % — воздействия высокой температуры...” [7] (по моим предположениям, погибших от асфиксии и токсического воздействия продуктов горения даже больше, но об этом тоже чуть позже). Еще в нескольких абзацах содержатся весьма убедительные подтверждения целесообразности принятия “принципа разумной достаточности” затрат на обеспечение требуемого уровня обеспечения ПВБ. Более подробное цитирование — за пределами правил приличия, но еще одна цитата совершенно необходима: “Однако теперь... разработаны методы прогнозирования опасных факторов пожара... Наиболее опасными факторами пожара являются продукты горения, их токсичные компоненты. Их появление наступает в первые минуты пожара (до 3–4-й минуты свободного горения)” [6]. А несколькими абзацами ранее было сказано: “разработаны методы прогнозирования опасных факторов пожара” со ссылкой на работу [8]. Именно это утверждение заставило меня вернуться к своей несостоявшейся пока (в основном по техническим и редакционным причинам) публикации.

2. Анализ причин невозможности расчета численного значения пожарного риска детерминированными методами термодинамики

В этой работе впервые были приведены объективные доказательства принципиальной невозможности априорного расчета опасных факторов внутреннего пожара и их сколько-нибудь достоверная количественная оценка во времени и в пространстве по ходу динамики развития внутреннего пожара. Невозможности, обусловленной отсутствием необходимых исходных данных о закономерностях развития внутренних пожаров, особенно связанных с горением твердых горючих материалов (ТГМ).

Эта принципиальная невозможность решить задачу расчета пожарных рисков объясняется, по край-

ней мере, четырьмя непреложными постулатами, совершенно очевидными специалистам по проблемам ПВБ, если они при этом еще являются и специалистами в области физики и химии процессов горения. Именно поэтому Т. Танака (будучи известным в мире и в России специалистом по процессам горения) даже после публикации [8] отказался от дальнейших попыток решения задачи описания динамики внутреннего пожара детерминированными методами в рамках современных методов термодинамики и внутренней газодинамики продуктов сгорания в помещении пожара и тем более за его пределами. И по этим же причинам Д. Драйздейл (автор первой в мире монографии по динамике внутренних пожаров и тоже изначально специалист по процессам горения, привлеченный к решению проблем пожарной безопасности) скромно назвал 426-страничную монографию “Введением в динамику пожаров” [9] (проработав над ее подготовкой порядка 10 лет!). Книга вызвала большой интерес у пожарных специалистов во всем мире (в том числе и в России). Но почти через 20 лет работы в этой области Д. Драйздейл издал книгу по этой же проблеме и опять под тем же названием.

Потому что, как специалист, кроме всего прочего, и по физике и химии горения, он отчетливо осознает, что это, увы, пока только введение... Введение в эту чрезвычайно сложную проблему описания параметров неорганизованного, диффузионного горения при внутреннем пожаре веществ и материалов, для горения совсем не предназначенных и “горящих вне специального очага”, методами и средствами таких строгих законов, как законы термодинамики и внутренней аэродинамики зданий и сооружений в нерасчетном режиме пожара! Потому что предмет динамики пожара, и особенно внутреннего, — это, по существу, и есть описание опасных факторов пожара и характера изменения их значений во времени развития пожара и в пространстве помещения, охваченного пожаром, и в смежных с ним помещениях.

Каковы же эти *четыре постулата*?

1. Процесс горения есть главный и основной процесс на пожаре.

2. Горение — сугубо объемный процесс (особенно диффузионное горение на пожаре). Поэтому интерпретация его или подмена площадью пожара — грубое искажение сложной физической картины пожара, включающей в себя важнейшую часть пространства, где выделяется вся теплота пожара и происходят те химические реакции горения, в результате которых и образуются продукты полного и неполного сгорания, являющиеся главной причиной гибели людей на пожаре (подробнее об этом несколько позже).

3. Только от безвыходности, от неумения пространственно описать зону горения на внутреннем пожаре ТГМ мы для удовлетворения нужд пожарной тактики и описания технологии процессов тушения внутренних пожаров вынуждены прибегать к его условному плоскостному выражению и грубо ориентировочному описанию через площадь пожара. За такую грубую подмену нередко приходится дорого расплачиваться, но это отдельный вопрос из области пожаротушения и пожарной тактики. А для расчета значений пожарного риска по законам и уравнениям термодинамики такая подмена совершенно недопустима (что будет доказано чуть ниже).

4. Тем более такая подмена недопустима, если в качестве исходных параметров для расчета пожарного риска принимаются значения ОФП. Потому что сами эти значения ОФП вычисляются через 3–4 такие совершенно не поддающиеся априорному расчету величины, как: (1) площадь пожара F_{Π} (м^2), рассчитываемая только через такую совершенно неопределенную величину, как (2) линейная скорость распространения пожара v_p (м/мин); (3) массовая скорость выгорания горючей нагрузки M (кг/с), которая в свою очередь определяется через удельную массовую скорость выгорания $m_{\text{уд}}$ ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$). Среднее значение этого параметра процесса горения для большинства ТГМ лежит в пределах $5\text{--}7 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Минимально возможное численное значение этой величины на внутреннем пожаре при свободном диффузионном горении ТГМ составляет $3\text{--}4 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ при внешнем тепловом потоке $q_{\text{внеш}} = 8\text{--}10 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Впервые определенное в работах [10, 11] максимальное значение на пожаре редко превышает $8\text{--}9 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (т. е. разница возможна уже в 2–3 раза).

Однако, как известно из физики горения ТГМ, с единичной площади горизонтальной поверхности без воздействия мощного внешнего теплового потока (более $15\text{--}20 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) ТГМ, как правило, гореть неспособны. Поэтому на реальных пожарах для более полного описания процесса диффузионного горения ТГМ приходится вводить еще одно условное понятие — приведенную массовую скорость выгорания $m_{\text{уд.пр}}$ ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$):

$$m_{\text{уд.пр}} = m_{\text{уд}} k_{\Pi},$$

где $k_{\Pi} = F_{\Pi,г}/F_{\Pi}$;

$F_{\Pi,г}$ — суммарная площадь всех поверхностей горения ТГМ на данный момент времени, м^2 ;

F_{Π} — условная площадь пожара на тот же момент времени, м^2 .

Обычно на внутренних пожарах $k_{\Pi} = 2,5\text{--}3,5$ и условно принимается равным 3. Однако на некоторых объектах или на некоторых участках пола горя-

щего помещения этот коэффициент может быть равен и 5–6, а на складах или сценах театров — 10, 20 и более! Но никаких более точных данных или рекомендаций по выбору его численного значения в пожарно-технической, а тем более в научной, литературе, как правило, нет. А ведь от его величины почти однозначно зависят все указанные выше параметры пожара. После всего этого опять же через площадь пожара вычисляют фактическую массовую скорость выгорания ТГМ на внутреннем пожаре:

$$M = m_{\text{пр.уд}} F_{\text{п}}.$$

Наконец, 4-м, совсем не определенным для горения на реальных внутренних пожарах ТГМ параметром, через который вычисляются ОФП, является дымообразующая способность ТГМ.

Особенно бессмысленно выглядит попытка расчетным путем определить оптические и токсические параметры дыма на внутреннем пожаре при горении ТГМ через еще более неопределенные параметры в понятиях физики и химии горения, такие как удельная дымообразующая способность ТГМ и массовая скорость выгорания, удельная дымообразующую способность горючего материала и площадь пожара. Но именно так построен расчет всех исходных параметров пожара, необходимых для расчета численных значений ОФП на внутреннем пожаре ТГМ в работе [8], ставшей исходной для десятка кандидатских и даже докторских диссертаций, нескольких десятков статей и докладов, положенных в основу методики расчета пожарных рисков при пожарах в зданиях и сооружениях [12–14], и др. [8].

В предисловии к работе [8] сказано, что в ней “рассмотрено физическое содержание опасных факторов пожара (ОФП), даны их предельно допустимые значения, *изложены основы современных методов прогнозирования их динамики в помещении* (выделено мной. — Прим. авт.) с использованием различных уравнений математического описания пожара” [8]. Но именно этого-то в данной работе не сделано, и по состоянию науки о внутренних пожарах на сегодня (т. е. даже более 10 лет спустя!) сделано быть не может!

И далее: “описаны процедура численного решения дифференциальных уравнений интегральной математической модели пожара и компьютерная программа... Изложена сущность зонного и полевого (дифференциального) методов математического моделирования пожара” [8]. Но, к сожалению, в работе [8] не сказано, что все исходные уравнения, которыми можно на сегодня описать самые главные параметры пожара, использованные в этой работе, могут быть написаны только с погрешностью не менее 500–600 % (и более).

Во введении к этой основополагающей работе, на фундаменте которой построены все расчеты пожарных рисков, в разделе “Общие сведения о методах прогнозирования ОФП в помещении” сказано: “В современных условиях разработка экономически оптимальных и эффективных противопожарных мер немыслима без научно обоснованного прогноза динамики ОФП”. Совершенно справедливо сказано. Так его и нет! И именно потому, что нет достоверных, грамотно составленных, а тем более научно обоснованных методов прогнозирования ОФП внутренних пожаров ТГМ! А “спрогнозированные” и “рассчитанные” численные значения ОФП с минимальной погрешностью 500–600 % в [8] и всех последующих работах не только не решают этой проблемы, а вольно или невольно десятикратно усиливают опасные последствия этого коллективного заблуждения! “Интегральная модель пожара как в своей основе, так и в деталях была разработана в 70-х гг. и опубликована в 1976 г. Спустя год после этой публикации была напечатана статья на эту же тему японским исследователем Т. Танака... [15].

Статья Т. Танака повторяла опубликованное проф. Ю. А. Кошмаровым (пишет “скромно” сам проф. Кошмаров. — Прим. авт.), содержала ряд погрешностей и носила незавершенный характер” [8]. Ну, во-первых, исходная работа Ю. А. Кошмарова, как он сам пишет [8], тоже в течение 25–30 лет (с 1970–1976 гг. по 2001 г.) не была завершена. (И, возможно, если бы она вообще не была закончена, то не породила бы такого количества еще более ошибочных и опасных по своим нынешним и отдаленным тяжелым последствиям работ по “математическому описанию динамики внутреннего пожара”).

Во-вторых, Т. Танака в отличие от автора [8] и авторов многих других работ, написанных в развитие этой работы, является известным в мире и в России специалистом по физике и химии процессов горения. И поэтому он не мог себе позволить тех грубых и ничем не обоснованных упрощений и допущений по физике распространения неорганизованного процесса горения ТГМ на внутреннем пожаре, которые, ничтоже сумняшеся, принимали (и принимают!!!) все эти авторы!

К сожалению, среди множества российских исследователей и разработчиков расчетных методик определения пожарного риска при внутренних пожарах ТГМ не нашлось специалистов (типа Т. Танаки, Д. Драйздейла и др.), которые бы разглядели полную научную необоснованность и практическую непригодность этой методики расчета пожарного риска. Такой заманчивой внешне, такой убедительной и вполне наукообразной, но совершенно несостоятельной по существу.

3. Доказательство недопустимости совмещения строгих термодинамических методов описания параметров среды в зоне пожара с данными по физике и химии горения ТГМ на внутреннем пожаре

Научная необоснованность и полная практическая непригодность методики расчета опасных факторов пожара обусловлена прежде всего тем, что у нас (как и во все мире) отсутствуют достоверные, пригодные для количественных расчетов данные об одном из основных параметров динамики пожара — линейной скорости его распространения v_p (м/с или м/мин). Этот параметр пожара входит обязательной составляющей в расчет другого важнейшего параметра пожара — площади пожара F_{Π} .

Чаще всего предполагают круговую форму распространения пожара и принимают еще 3–4 других, не всегда оправданных упрощения и допущения: что горючая нагрузка (ее вид, материал, состав, геометрические размеры и пр.) однородна (?), при прочих упрощающих допущениях, не всегда очевидных и адекватных реальным условиям на объекте пожара; что размещена она преимущественно по полу, и притом равномерно (?); что скорость распространения пожара одинакова во всех направлениях (что совершенно неочевидно даже при принятых допущениях) и т. д. После всех этих допущений и упрощений площадь пожара весьма условно рассчитывается по формуле площади круга:

$$F_{\Pi} = \pi R^2,$$

или

$$F_{\Pi} = k\pi v_p^2 t^2,$$

где k — коэффициент, учитывающий форму площади пожара (обычно его принимают равным 1 для пожара, возникшего в центре помещения, 0,5 — у стенки, 0,25 — в углу помещения);

$\pi = 3,14$;

v_p — линейная скорость распространения пожара по площади горящего помещения, м/мин;

t — время свободного развития пожара, мин.

При этом на наиболее интересующей нас, начальной стадии развития пожара, по продолжительности соизмеримой с критическим временем эвакуации людей на пожаре, в первые 10 мин скорость распространения пожара условно (но столь же бездоказательно) принимается равной половине ее табличного значения. Хотя очевидно, что по законам физики горения ТГМ в замкнутом пространстве она будет возрастать скорее всего по S-образной кривой. А при расчете площади пожара по указанной выше формуле это очень существенно.

Из физики горения ТГМ известно, что скорость распространения процесса горения по поверхности ТГМ зависит более чем от 8–10 очевидных факто-

ров и параметров процесса горения (и, видимо, еще от нескольких неочевидных и пока не изученных параметров и условий).

В самом общем виде можно записать, что линейная скорость распространения процесса горения по поверхности ТГМ выглядит так:

$$v_p = f(x, d, w, t_{\text{пов}}, f_{\text{O}_2}, v_{\text{в}}, \alpha, q_{\text{внеш}}, \dots),$$

где x — вид горючего материала (даже если это только древесина, то бук, береза, ель или сосна и т. п., что очень существенно);

d — характеристический размер горящего образца, мм (см и пр.);

w — влажность горящего материала, %;

$t_{\text{пов}}$ — температура поверхности горючего материала, °C;

f_{O_2} — объемная концентрация кислорода в зоне горения, %;

$v_{\text{в}}$ — скорость в зависимости от направления воздушных потоков в зоне горения, м/с;

α — угол наклона горячей поверхности к вертикали (или к горизонтали), град;

$q_{\text{внеш}}$ — интенсивность внешнего теплового потока, кДж/(м²·с).

Причем каждый из этих факторов влияет на скорость распространения процесса горения весьма существенно, увеличивая или уменьшая ее в 4–5 раз, а порой и в 8–10 (даже “по отдельности”!). А на пожаре они почти все действуют одновременно, но как именно — практически неизвестно, причем никому в мире!

В связи с этим специалисты всего мира о скорости линейного распространения пожара знают весьма приблизительно. Ее значения приводятся в некоторых (очень немногочисленных) справочниках очень ориентировочно и дифференцированно: для больниц (?); административных зданий (?); жилых помещений (?); цехов деревообработки (?) и т. д. И почти всегда они даются без уточнения конкретного вида и количества горючего материала, характера и условий его распределения по объему и площади помещения, без указания формы и объема помещения и других, весьма существенных параметров помещения и обстоятельств возникновения и развития пожара.

Кроме всего прочего, значения скорости линейного распространения пожара для неопределенно ранжированных объектов пожара, как правило, даются с разбросом в 2–3 раза! Например, в работах [9, 16] этот важнейший, исходный и основополагающий параметр динамики развития внутреннего пожара ТГМ представлен в виде таблиц, где даны такие численные значения v_p (м/мин): административные здания (?) — 1,0–1,5; больницы (?) — 0,6–1,0 (для зданий II степени огнестойкости) и 2,0–3,0

(для зданий III и IV степеней огнестойкости); лесопильные цехи — 1,0–3,0 (для зданий III степени огнестойкости) и 2,0–5,0 (для зданий V степени огнестойкости); театры (сцены) — 1,0–3,0; цехи текстильного производства (?) — 0,3–0,6; цехи деревообрабатывающего комбината (машинная обработка (?), заготовка (?), обрезка (?), сборка (?), фанеровка, производство фанеры) — 1,0–1,6 и т. д.

Таким образом, наблюдается разброс данных в пределах одного вида объекта в 1,5–2 и даже в 3 раза!!! А так как в формулу площади пожара эта величина входит в квадрате, то произвольный разброс значений главного параметра пожара — его площади $F_{\text{п}}$ будет уже в 2,25–4 и даже в 9–10 раз!!! Вот уж совершенно произвольная ошибка — 500–1000 % (или разброс результатов в пределах желаемого соответственно в 5–10 раз!).

Надо ли рассматривать погрешности этой порочной методики [8] дальше? При этом, как правило, в этих таблицах и справочниках отсутствуют какие-либо рекомендации или указания, в каком конкретном случае следует брать меньшее, в каком — среднее, а в каком — большее значение v_p . Да этих рекомендаций и не может быть! Потому что они отсутствуют в природе! Потому что в реальных условиях, на реальном пожаре на одном и том же объекте, в зависимости от множества условий и обстоятельств, которые мы чаще всего априори не можем учесть, реальная скорость распространения пожара может иметь любые значения, различающиеся в 2–3 и более раз (как это приводится в справочниках).

Следовательно, величина рассчитанной нами площади пожара может оказаться для одного и того же объекта в сходственные моменты времени любой, различающейся в 3–5 и даже 10 раз! А если учесть при этом право расчетчика на начальной стадии пожара (т. е. в первые 10 мин) брать $v_p = 0,5v_{\text{табл}}$ (где $v_{\text{табл}}$ — табличное значение v_p), то главный расчетный параметр, от величины которого зависит и температура пожара на объекте, и интенсивность излучения зоны горения, и, главное, интенсивность и плотность дымообразования в помещении и на путях эвакуации, может различаться и в 5, и в 10, и в 20, и даже более раз!

Вот только такая точность расчета главного параметра внутреннего пожара — его площади доступна при современном уровне науки о динамике внутренних пожаров [9, 16]. И если такой уровень точности (достоверности) расчета площади пожара, хотя и очень условно, может использоваться при решении пожарно-тактических задач, в которых, как и в любых других видах тактики, ошибка $\pm(50–100)\%$ считается допустимой, приемлемой, то при расчете пожарного риска через значения ОФП

она совершенно недопустима. Более того, принципиально неприемлема.

Однако это только начало проблем (и погрешностей) принципиально возможной точности расчета пожарного риска по детерминированным физическим законам развития внутренних пожаров. А дальше еще хуже и сложнее (хотя и сейчас вполне очевидна невозможность расчета значений ОФП внутреннего пожара ТГМ по методикам и рекомендациям работы [8] и всех последующих работ, написанных на ее основе).

Вторая причина, по которой невозможна и даже недопустима строгая термодинамическая методика расчета ОФП, состоит в совершенно недостаточном уровне и объеме наших знаний о массовой скорости выгорания m ($\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) даже отдельно для каждого вида ТГМ. Поскольку этот важнейший параметр процесса горения ТГМ зависит самым тесным образом от 3–4 других параметров пожара, которые мы не можем задать на рассчитываемый момент времени его развития. Например, таких, как состав газовой среды в зоне горения, непосредственно вокруг горящей поверхности ТГМ, особенно концентрации кислорода, CO_2 , H_2O и других газовых составляющих в зоне горения; интенсивность теплового потока (лучистого и конвективного) к поверхности горящего ТГМ ($\text{кВт}/\text{м}^2$); текущее значение температуры (не “температуры пожара”, потому что это совершенно безграмотный показатель, как “средняя температура больных” в палате на 10 чел., а истинной температуры в зоне протекания пиролиза и химических реакций горения данного ТГМ в данный момент времени).

Параметр m самым существенным образом зависит от степени (стадии) выгорания материала и толщины переугленного слоя на его поверхности. А этот переугленный слой на поверхности многих видов ТГМ, например древесины, кожи и некоторых других, возрастает при горении на пожаре со средней скоростью порядка 0,5–1,0 мм/мин, т. е. уже в первые 5–10 мин развития пожара (наиболее важная стадия его с позиций расчета ОФП и допустимого времени эвакуации) толщина переугленного слоя достигает своего предельного (критического) значения.

При толщине переугленного слоя порядка 1–2 см может смениться на некоторое время и сам режим горения — перейти из пламенного “гомогенного” режима в смешанный гомогенно-гетерогенный или вообще (временно) — в режим тления, т. е. беспламенного, чисто гетерогенного горения.

Это, в свою очередь, может самым радикальным образом повлиять на все основные закономерности процесса горения — на скорость его распространения, массовую скорость выгорания и еще больше на

концентрацию и состав продуктов сгорания (и дымообразования!). Иными словами, это самым существенным образом влияет на важнейшие для нас в этом исследовании параметры горения, которые меняются с течением времени по неизвестной нам зависимости. И еще они зависят от нескольких других, не исследованных на сегодня параметров и условий горения ТГМ!

И это мы рассмотрели неполную совокупность факторов, определяющих значение массовой скорости выгорания отдельного вида горючего материала (древесины или кожи, шерсти или синтетического полимера). Однако на реальном внутреннем пожаре эти вещества нередко горят совместно и одновременно, и тогда сложность определения массовой скорости выгорания горючей нагрузки удваивается или утраивается! А проблема расчета химического состава продуктов неполного сгорания (а на пожаре, в режиме неорганизованного диффузионного горения в атмосфере неопределенного состава газовоздушной смеси, всегда образуются преимущественно продукты неполного сгорания) удесятелится! (Именно это и называется *дымом*. Дым — это термодинамически неустойчивая, полидисперсная смесь воздуха с газообразными, жидкими и твердыми продуктами полного и неполного сгорания веществ и материалов на пожаре.)

Именно это наглядно иллюстрируют данные работы [17] по проблемам экологии пожаров, опубликованной в те же годы, что и работа [8]. По выходу токсичных продуктов сгорания при горении на внутреннем пожаре одних и тех же горючих веществ и материалов (в % или в г/кг) разнятся в 2–5; 10; 20 и даже более раз. Однако достаточно даже разброса вводимых параметров по дымообразованию всего в 5–10 раз, чтобы расчет ОФП утратил всякий практический смысл, всякое практическое значение, потому что тогда асфиксия или смерть от токсического отравления наступит в 3–5 раз быстрее! Тогда и сравнивать с критическим временем эвакуации будет нечего! И это также написано в работе [17].

По составу и выделению на пожаре важнейших токсических составляющих дымовых газов, таких как CO, аммиак, HCl, HF, HCN и даже диоксинов, разброс чрезвычайно велик (см. табл. 29, 31, 37, 38, 40, 41 и 45 [17]). Эти данные собраны по многим отечественным и зарубежным исследованиям. Данные по плотности дыма (г/м^3) для различных видов горючих материалов, встречающихся на реальных внутренних пожарах, разнятся в 5–10 раз (см. табл. 48 [17]), а при различных сочетаниях этих материалов на реальных пожарах эта разница будет еще больше. Но какая именно, никому сегодня достоверно не известно. Но это речь идет только об удельной массовой скорости выгорания или удель-

ной дымообразующей способности. А для расчета значений ОФП на пожаре в определенной точке и в определенное время надо умножить эти “удельные” значения на площадь пожара, которая в свою очередь поддается расчету только с ошибкой 500–1000 %.

Именно поэтому в монографии Драйздейла [9], посвященной динамике внутренних пожаров, сказано: “Поскольку длительность начального этапа пожара до полного охвата помещения пламенем имеет непосредственное отношение к обеспечению безопасности людей, существенное внимание уделяется знанию параметров горючих (веществ) и условий вентиляции, которые влияют на скорость нарастания пожара (с учетом поправок на издержки и неточность перевода здесь речь идет именно о скорости изменения ОФП! — *Прим. авт.*).

При реализации главной научно-исследовательской программы (названной “Программа домашних пожаров”), проведенной Гарвардским университетом и компанией “Фактори мьючел Ресерч Корпорейшн”, ...были получены обширные данные по нарастанию полномасштабного пожара в полностью мебелированной спальне. Эта программа послужила импульсом для проведения дальнейшего изучения многих факторов, которые, по мнению исследователей, вносят вклад в нарастание пожара (читай — в динамику развития пожара. — *Прим. авт.*), и позволила приступить к разработке сложных математических моделей различных режимов пожара. И тем не менее существует такое многообразие различных параметров, которые могут влиять на процесс развития пожара, что трудно определить наиболее существенные из них” [9] (см. все изложенное в данной статье выше. — *Прим. авт.*). И далее: “...систематическое изучение всех переменных требует проведения весьма значительного числа экспериментов.

Пожарная комиссия Международного Совета по делам строительства предприняла такого рода программу в конце 60-х годов, в которой приняли участие девять научно-исследовательских лабораторий, расположенных по всему миру (в Японии, Нидерландах, Австралии, США, (FMRC и Национальное бюро стандартов), Великобритании, Германии, Канаде и Швеции)” [9].

Далее в работе [9] сообщается, что каждый эксперимент повторялся дважды. Всего было исследовано влияние восьми основных факторов на динамику внутренних пожаров ТГМ. Всего по этой обширнейшей международной программе было проведено 256 (!) натурных и модельных огневых испытаний. “Кроме того, FMRC и Национальным бюро стандартов были проведены дополнительные испытания” [9].

Далее дается подробный анализ результатов этой по-настоящему грандиозной по объему пожарных исследований работы. Но, относясь с самым большим уважением и даже с почтением к автору, о результатах этой огромной работы иначе как русским выражением “без слез не взглянешь” точнее сказать невозможно. Да и сам автор признает, что “отмечалось несколько важных факторов взаимного влияния, очевидность некоторых следует из интуитивных соображений” [9].

К сожалению, несколько огрубляя и (в порядке вполне доброжелательной иронии о результатах этой огромной работы) оценивая то, что осталось “в сухом остатке”, можно свести итог к шутливой формулировке трех основных теорем пожарной тактики (о которых с юмором рассказывают сами “тушилы”, как почтительно называют у нас подлинных огнеборцев!): 1 — сухие дрова горят лучше мокрых; 2 — контрабас горит дольше, чем скрипка; 3 (из области тушения) — лей воду — вода пожар найдет!

А если говорить серьезно о результатах этой международной научно-исследовательской программы, учитывая все, что было изложено выше о проблемах аналитического описания динамики внутреннего пожара ТГМ детерминированными методами, можно с уверенностью сказать только одно: это слишком сложное физическое явление, чтобы пытаться имеющимися на сегодня данными о пожаре описать его в рамках и методами современной термодинамики и газодинамики. А попытка сделать это вводит десятки (если не сотни и тысячи “неосведомленных”) в опасное заблуждение с неизбежными трагическими последствиями в будущем.

В итоге спрашивается, кому нужен и чего стоит такой расчет с погрешностью 500 и даже 1000 %? Правда, говорят, у современных “независимых аудиторов” (в зависимости от желаемого заказчика результата) такой расчет стоит довольно дорого! Но это уже совсем другая история.

4. Причины широкого применения (и внутреннее содержание) метода оценки пожарных рисков во многих технически развитых странах мира

В то же время следует признать, что во многих технически развитых странах мира методы оценки уровня пожарной безопасности большинства объектов основаны именно на определении величины пожарного риска, и вполне достоверные методики его расчета существуют и широко применяются. Вот только построены эти методики расчета риска совсем по другому принципу и совершенно на другой основе, о чем неоднократно писали и проф. Н. Н. Брушлинский, и проф. С. В. Соколов, и некоторые другие авторы.

В основу этих расчетов чаще всего в качестве главных исходных данных заложены не термодинамические уравнения развития параметров пожара и не газодинамические уравнения потоков продуктов сгорания, концентрационный состав которых расчетным путем может быть определен с ошибкой не менее 500–1000 %, а статистические данные о фактической гибели людей от пожара на тех или иных объектах пожара при тех или иных обстоятельствах. Однако для таких расчетов необходима огромная, многопараметрическая и многофакторная база достоверных статистических данных. Такие данные накапливаются огромным количеством специалистов по статистике многих тысяч пожаров в течение многих десятков лет. Это не та статистика пожаров и ущербов (и гибели людей!), которая более 70–80 лет публикуется (или, наоборот, скрывается) в России с опасливой оглядкой “на начальство”, с постоянной оглядкой “на последствия”, на опасные “оргвыводы”, на перспективы карьерного роста и прочие привходящие обстоятельства.

Последние 40–50 лет у нас по статистике почти ежегодно (или, по крайней мере, через каждые 3–4 года) число жертв пожара “неуклонно снижается” [7, 18]. А между тем оно с 3,5–4,0 тыс. чел. в год на 250 млн. населения возросло (даже по официальной статистике) до 15–20 тыс. чел. в год на 140 млн. чел. населения страны!!! А по “неофициальным” данным — более 25–30 тыс. чел. в год!

Для разработки достоверной и практически применимой методики расчета пожарного риска необходима достоверная статистика с тесной “обратной экономической связью”, статистика с финансовой ответственностью за недостоверно определенное значение пожарного риска, если в результате этой ошибки погибли люди (или нанесен материальный ущерб), и за это приходится выплачивать соответствующие многомиллионные страховые компенсации. Это очень дорогая (и в прямом, и в переносном смысле слова) статистика. Статистика с большой буквы! Достоверная статистика! И ее нельзя ни перенять, ни позаимствовать, ни купить... (и не потому, что дорого или не продается, а потому что это их статистика, и она нам не подходит!...). Нам надо наработать свою (нашу) статистику и на ее основе строить достоверные методы расчета пожарного риска! И нести всю полноту ответственности за результаты и последствия этого расчета. А без достоверных методов его расчета это так и останется профанацией и шельмовством (где по “неведению”, а где и по безграмотности и невыполнимости наших законов).

Вот один из аргументов недостоверности нашей статистики. Для установления истинной причины гибели на пожаре, когда из здания выносят сильно обгоревший или почти полностью обугленный труп

жертвы либо (что еще хуже) находят полностью обугленный труп на следующий день, необходимо выполнить много трудоемких и сложных анализов: взять мазки слизистых покровов носа, гортани, бронхов; сделать вскрытие грудной клетки и произвести анализ содержимого субстрата легочной ткани; сделать анализ крови на содержание СО и карбоксигемоглобина (который образуется после 4–5 глубоких вдохов от нехватки кислорода, и тут же кровь человека утрачивает способность переносить кислород, которого и так недостает в помещении. Плюс синергетическое воздействие других токсиантов, и в результате — потеря сознания и смерть до получения ожогов).

Но всегда ли такие обстоятельные исследования истинных причин смерти делаются в случае, если труп сильно обгорел? Очевидны же явные следы воздействия огня! Но при этом весьма вероятно, что сгорел не человек, а труп человека! Человек же погиб от асфиксии (удушья, недостатка кислорода) или удушья в результате воздействия СО, либо погиб от воздействия других отравляющих веществ, либо потерял ориентацию в плотном дыме и при падении получил смертельную травму, а уже потом обгорел в пламени пожара или под воздействием мощного теплового излучения из зоны горения пожара. И в очень редких случаях при подобных обстоятельствах будет выявлена подлинная причина смерти погибшего на пожаре.

В связи с этим вполне вероятно, что на внутренних пожарах ТГМ от дыма гибнет не 70–80 и даже не 90 %, а еще больше. От достоверности этих дан-

ных напрямую зависят требуемые затраты на внутреннюю вентиляцию помещений, на реализацию мер и способов по обеспечению незадымляемости переходов и эвакуационных выходов, на установку автоматической системы водяного или газового пожаротушения и на многие другие конкретные решения по обеспечению мер пожарной безопасности. И это только один (и не самый главный!!!) пример недостоверности нашей статистики по пожарам и причинам гибели на пожарах (и последствий этой недостоверности).

Однако нигде в мире не существует методики расчета или хотя бы приблизительной количественной оценки численных значений ОФП при внутреннем пожаре ТГМ по строгим (или хотя бы приблизительным) уравнениям термодинамики! Даже в том “пожарном” мире, который может объединить общей программой пожарных исследований лучшие университеты и научно-исследовательские центры десятка самых передовых и наиболее технически развитых стран мира! Видимо, они хорошо помнят слова великого Пушкина, что “в одну телегу впрячь не можно коня и трепетную лань!” (а тем более “вола и трепетную лань”!) К нашей пожарной проблеме эта совокупность более подходит...).

Таким образом, неточные и недостоверные расчеты пожарного риска приносят гораздо больше вреда, чем полное их отсутствие. Поэтому методику расчета пожарных рисков [3], которая позволяет выполнять их с ошибкой 500–1000 %, следовало бы немедленно отменить и запретить ее применение!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Тимошин В. С. Пожарная безопасность — по закону или “по понятиям”? // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 13–17.
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382; введ. 30.06.2009 г.; зарег. в Минюсте РФ 06.08.2009 г., рег. № 14486 // Российская газета. — 2009. — № 161.
4. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Об усовершенствовании “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 3. — С. 9–17.
5. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Еще раз о пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 9–12.
6. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О статистике пожаров и о пожарных рисках // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 40–48.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2008 г. : стат. сб. / Под общ. ред. Н. П. Копылова. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 137 с.
8. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
9. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К. Г. Бомштейна. — М. : Стройиздат, 1990. — 423 с.

10. Абдурагимов И. М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаро-взрывобезопасности // Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. — 1976. — № 21. — С. 363–371.
11. Абдурагимов И. М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаро-взрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 11. — С. 18–26.
12. Кошмаров Ю. А., Зотов Ю. С., Андреев В. В., Пузач С. В. Прогнозирование опасных факторов пожара: лабораторный практикум. — М. : МИПБ МВД России, 1997. — 75 с.
13. Кошмаров Ю. А., Рубцов В. В. Процессы нарастания ОФП в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожаров. — М. : МИПБ МВД России, 1998. — 90 с.
14. Кошмаров Ю. А. Газообмен помещения при пожаре // Пожарная профилактика : сб. науч. тр. — Вып. 15. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1979. — С. 3–129.
15. Takeyoshi Tanaka. A mathematical model of a compartment fire un modele mathematique de l'incendie d'une piece. — Токио : Институт кинетики и горения, 1977.
16. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 255 с.
17. Исаева Л. К. Пожары и окружающая среда. — М. : Изд. дом “Калан”, 2001. — 222 с.
18. Пожары и пожарная безопасность в 2010 г. : стат. сб. / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2011. — 140 с.

Материал поступил в редакцию 12 марта 2013 г.

English

ONCE AGAIN ABOUT IMPOSSIBILITY TO PERFORM CALCULATIONS OF FIRE RISKS BY DETERMINISTIC METHODS

ABDURAGIMOV I. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NSAFS, Colonel of Internal Service, Professor of Bauman Moscow State Technical University (Baumanskaya St., 5/1, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: niipx@yandex.ru)

ABSTRACT

Quantitative proofs of impossibility of calculation of fire risks by methods of mathematical description of parameters of inside fires of SCM (solid combustible materials) by FHF (fire hazard factors) numerical values are given. It is proved that basic parameters of dynamics of SCM inside fires (linear speed of spread, fire area, combustion rate of fire load, quantity and structure of combustion products of SCM inside fires, and other) are known to modern combustion science with the error not less than $\pm(150-300)$ %. Therefore calculation of numerical values of FHF and fire risk with error less than $\pm(500-1000)$ % isn't possible in principle. Thereby full uselessness of Method of calculation of fire risk for assessment of adequacy of the level of fire safety of objects and necessity of immediate cancellation of the order on introduction of this method into practice of fire risks calculation is proved.

Keywords: fire; fire risk; fire hazard factors; dynamics of development of inside fires; mathematical methods of description.

REFERENCES

1. Technical Regulations on Fire Safety : Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. Timoshin V. S. Pozharnaya bezopasnost — po zakonu ili “po ponyatiyam” [Fire safety — under the law or “by concepts”?]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, p. 13–17.
3. Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2009, no. 161 (in Russian).

4. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. Ob usovershenstvovanii "Tekhnicheskogo reglamenta o trebovaniyakh pozharной bezopasnosti" [Improvement of "Technical Regulation on the Requirements of Fire Safety"]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 9–17.
5. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. Yeshche raz o pozharной bezopasnosti [Once again about fire safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 9–12.
6. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. O statistike pozharov i o pozharных riskakh [About fire statistics and fire risks]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 40–48.
7. Kopylov N. P. (ed.) *Pozhary i pozharная bezopasnost v 2008 g. Statisticheskii sbornik* [Fires and fire safety in 2008. Statistical collection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2008. 137 p.
8. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
9. Drayzdeyl D. *Vvedeniye v dinamiku pozharov* [Introduction to dynamics of fires]. Moscow, Stroyizdat, 1990. 423 p.
10. Abduragimov I. M. Predelnyye yavleniya v gorenii kak nauchno-teoreticheskaya osnova pozharovzryvbezopasnosti [The limiting phenomena in burning as scientific-theoretical basis of the fire-and-explosion safety]. *Zhurnal vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleyeva — Journal of the All-Union Chemical Society named after D. I. Mendeleyev*, 1976, no. 21, pp. 363–371.
11. Abduragimov I. M. Predelnyye yavleniya v gorenii kak nauchno-teoreticheskaya osnova pozharovzryvbezopasnosti [The limiting phenomena in burning as scientific-theoretical basis of the fire-and-explosion safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 11, pp. 18–26.
12. Koshmarov Yu. A., Zotov Yu. S., Andreyev V. V., Puzach S. V. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara: laboratornyy praktikum* [Prognosing of Hazardous Factors of fire. Laboratory course]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of Interior of Russia Publ., 1997. 75 p.
13. Koshmarov Yu. A., Rubtsov V. V. *Protsessy narastaniya OFP v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh i raschet kriticheskoy prodolzhitel'nosti pozharov* [Processes of increase of FHF in industrial premises and calculation of critical duration of fires]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of Interior of Russia Publ., 1998. 90 p.
14. Koshmarov Yu. A. *Gazoobmen pomeshcheniya pri pozhare* [Gas exchange in premises in case of fire]. *Pozharная profilaktika: Sbornik nauchnykh trudov* [Fire prevention. Collection of scientific works]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Interior of USSR Publ., 1979, pp. 3–129.
15. Takeyoshi Tanaka. *A mathematical model of a compartment fire un modele mathematique de l'incendie d'une piece*. Tokyo, Institute of Kinetics and Combustion Publ., 1977.
16. Abduragimov I. M., Govorov V. Yu., Makarov V. Ye. *Fiziko-khimicheskiye osnovy razvitiya i tushe-niya pozharov* [Physical-chemical bases of development and suppression of fires]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1980. 255 p.
17. Isayeva L. K. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda* [Fires and the environment]. Moscow, Kalan Publ., 2001. 222 p.
18. Klimkin V. I. (ed.) *Pozhary i pozharная bezopasnost v 2010 g. Statisticheskii sbornik* [Fires and fire safety in 2010. Statistical collection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2011. 140 p.

Д. О. ГЛУШКОВ, канд. физ.-мат. наук, ассистент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: dmitriyog@tpu.ru)

А. В. ЗАХАРЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: bet@tpu.ru)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.468

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЖИГАНИЯ ДИСПЕРГИРОВАННОГО КОНДЕНСИРОВАННОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРЕВЕ

Представлены результаты исследований по определению кинетических параметров зажигания измельченной древесины (опилок) при взаимодействии с одиночной, нагретой до высоких температур стальной частицей. Проведен анализ экспериментальных и теоретических интегральных характеристик процесса (времен задержки зажигания) при варьировании начальной температуры локального источника энергии.

Ключевые слова: диспергированное вещество; локальный нагрев; кинетические параметры; зажигание.

Введение

Численный анализ условий и характеристик зажигания конденсированных веществ (КВ) возможен при известных кинетических параметрах этой экзотермической реакции. Определение их значений всегда представляет достаточно сложную задачу даже, например, при простейшей (аррениусовской) зависимости скорости реакции окисления от температуры [1], установленной по результатам экспериментальных исследований. Особые сложности возникают при экспериментах с диспергированными КВ. Условия теплообмена одиночной частицы измельченного материала с массивным источником нагрева (например, металлической плитой с постоянной температурой поверхности [1]) существенно отличаются от условий нагрева слоя диспергированного КВ локальным источником (например, одиночной, нагретой до высоких температур частицей металла [2, 3]).

Еще более сложной является схема нагрева лесных горючих материалов (ЛГМ) при их попадании на поверхность массивной “горячей” пластины. Одиночный фрагмент ЛГМ (хвоинка, лист или травинка) при выпадении на ровную горизонтальную поверхность, скорее всего, будет нагреваться локально в одной, двух или трех точках контакта с источником высоких температур. Соответственно, и условия теплоподвода и охлаждения в каждом отдельном эксперименте будут существенно нестабильны, что

повлечет за собой большие отклонения по временам задержки воспламенения КВ и значительные погрешности в определении кинетических параметров реакции зажигания. В связи с этим представляется целесообразным установить искомые параметры по результатам обработки экспериментальных данных, полученных в условиях, максимально приближенных к реальным условиям возгорания диспергированных КВ в случае локального нагрева (например, при выпадении одиночной “горячей” металлической частицы на поверхность слоя измельченной древесины).

Следует отметить, что использование хорошо известной методики [1] определения кинетических параметров реакции зажигания возможно при постоянстве температуры источника нагрева (массивной пластины, например), поэтому изменения во времени условий нагрева должны быть минимальными. Вышеизложенные ограничения существенно сокращают возможности экспериментального определения кинетических параметров реакций зажигания конденсированных веществ. В результате до настоящего времени отсутствуют сведения о таких характеристиках даже для достаточно типичных горючих КВ, представляющих очевидную пожарную опасность (угольная пыль, диспергированная древесина и др.).

Цель настоящей работы — определение по результатам экспериментальных исследований кине-

тических параметров (энергии активации и предэкспоненты) реакции газозафазного зажигания диспергированной древесины, а также сопоставление экспериментальных и теоретических интегральных характеристик процесса.

Методика экспериментальных исследований

Известны результаты экспериментальных исследований условий и характеристики зажигания жидких [4–7] и твердых [8–11] конденсированных веществ при локальном нагреве одиночной “горячей” частицы. Основываясь на результатах анализа и обобщая представленные в [4–11] экспериментальные данные по зависимостям времен задержки зажигания исследовавшихся КВ от начальной температуры источника нагрева — частицы в форме диска, можно сформулировать несколько положений, регламентирующих условия экспериментов по определению кинетических параметров.

1. Для обеспечения минимальных погрешностей результатов измерений времен задержки зажигания КВ t_d целесообразно проводить эксперименты при максимально возможных начальных температурах T_p частиц — источников нагрева. Результаты [4–11] показывают, что с ростом T_p существенно снижаются случайные погрешности измерений t_d , достигая при $T_p > 1200$ К минимума (около 7 %). Кроме того, при высоких значениях T_p толщина h_p частицы — источника нагрева не влияет на величину t_d . При малых же значениях T_p отклонения по временам задержки зажигания КВ частицами разной толщины достигают 300 % [4–11].

2. При высоких начальных температурах источника локального нагрева времена задержки зажигания (всех исследовавшихся КВ) принимают минимальные значения. Соответственно, при больших значениях T_p (и малых t_d) в течение индукционного периода отклонения температур источника нагрева от начальных значений будут минимальными. Выполненные авторами ранее оценки [12] показали, что за промежуток времени $\Delta t < 0,2$ с температура стальной частицы в типичных условиях охлаждения при контакте с твердым КВ снижается в среднем на 10–15 К. Керамические частицы, теплопроводность которых существенно (более чем в 10 раз) меньше теплопроводности стали, остывают медленнее. Поэтому снижение величины T_p за время задержки зажигания $t_d < 0,2$ с должно составлять единицы градусов. Соответственно, для определения кинетических параметров реакции зажигания КВ можно использовать модель [1], разработанную для определения характеристик зажигания порохов при их нагреве массивным источником с постоянной температурой. Возможные отклонения по темпера-

туре T_p не превышают 1 % при малых значениях t_d . Если учесть, что случайные погрешности определения времен задержки зажигания даже при высоких значениях T_p составляют до ± 7 % [4–11], можно считать максимально возможные отклонения по температуре источника вполне приемлемыми.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Экспериментальные исследования проведены на установке и по методике [8]. Условная схема области взаимодействия частицы и КВ представлена на рис. 1. В качестве источника нагрева использовалась стальная частица в форме диска радиусом $R_p = r_p/l = 3$ и толщиной $H_p = h_p/l = 3$ (где l — характерный размер одиночного фрагмента измельченной древесины; $l = 10^{-3}$ м). Нагрев частицы проводился до $T_p > 1100$ К для минимизации (как уже отмечалось выше) погрешности определения времени задержки зажигания диспергированного КВ — древесных опилок. Результаты экспериментов в виде зависимости безразмерного времени задержки зажигания КВ $\tau_d = t_d/t_0$ от безразмерной начальной температуры “горячей” частицы $\Theta_p = T_p/T_0$ приведены на рис. 2. Здесь t_d — время задержки за-

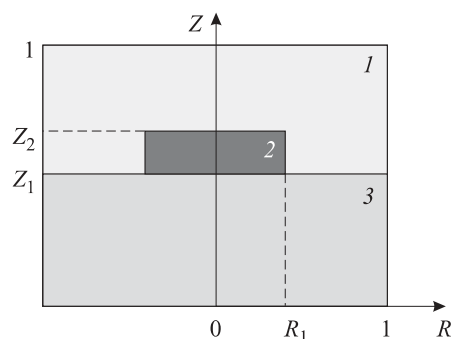


Рис. 1. Схема области решения задачи при $0 < \tau < \tau_d$: 1 — газовая смесь; 2 — стальная частица; 3 — КВ

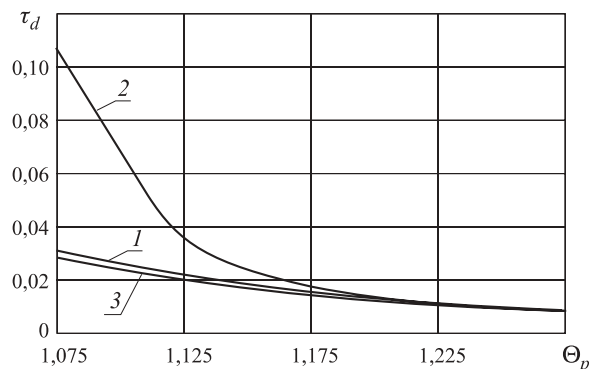


Рис. 2. Времена задержки зажигания в системе *стальная частица – диспергированное КВ – воздух* в зависимости от начальной температуры источника нагрева: 1 — экспериментальная кривая; 2 — теоретическая кривая при $Q_0 k_1^0 = \text{const}$; 3 — теоретическая кривая при $Q_0 k_1^0 = f(\Theta_p)$

жигания, установленное в экспериментах; t_0 — характерное время прогрева элементарного фрагмента измельченной древесины; $t_0 = l^2/a$; a — теплопроводность древесины; T_0 — характерная температура процесса (принята равной температуре стандартного пожара 1170 К [13]).

При вычислении значений кинетических параметров реакции зажигания использовалось выражение [1]:

$$t_d = 1,18 \left(1 - \frac{T_0}{T_p} \right) \sqrt{T_p - T_0} \frac{C}{Q_o k_1^0} \sqrt{\frac{E_1}{R T_p}} \exp \left(\frac{E_1}{R T_p} \right), \quad (1)$$

где C — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

Q_o — тепловой эффект химической реакции окисления, Дж/кг;

k_1^0 — предэкспоненциальный множитель, с⁻¹;

E_1 — энергия активации химической реакции окисления, Дж/моль;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Для определения двух неизвестных E_1 и произведения $Q_o k_1^0$ использовались две экспериментальные точки кривой 1 (см. рис. 2), связывающие значения Θ_p и τ_d . Как показали эксперименты [10], такой подход, несомненно, несколько упрощает кинетическую схему газозафазного зажигания диспергированной древесины. В то же время такая формальная процедура привлекательна простотой ее реализации. Для определения кинетических параметров сложного термокинетического процесса достаточно решить систему двух трансцендентных уравнений с использованием экспериментальной зависимости, приведенной на рис. 2.

Для диапазона изменения начальной температуры “горячих” частиц от 0,925 до 1,025 вычислены значения кинетических параметров: $E_1 = 84 \cdot 10^3$ Дж/моль, $Q_o k_1^0 = 5,516 \cdot 10^{11}$ Дж/(кг·с).

Анализ достоверности полученных результатов проведен следующим образом. Сформулирована математическая модель процесса газозафазного зажигания диспергированного конденсированного вещества при локальном нагреве его одиночной “горячей” частицей. При постановке задачи в качестве базовой использовалась модель газозафазного зажигания жидких топлив источниками ограниченного теплосодержания, разработанная для относительно простых схем взаимодействия “горячей” частицы с жидким КВ [14–16] и экстраполированная в дальнейшем на широкий диапазон изменения внешних воздействий [17–19] и факторов [20–23], влияющих на условия и характеристики зажигания горючих жидкостей. Отличие математической модели процесса зажигания диспергированной древесины, которая приведена ниже, от модели зажигания жидких топлив [17–19] заключается в основном в описании протекающих в КВ процессов тепломассопереноса.

Интенсивность вдува газообразных продуктов термического разложения древесины в пристенную область локального источника энергии (см. рис. 1) много меньше массовой скорости поступления паров, образующихся при испарении жидких топлив в адекватных условиях нагрева [14–17]. Поэтому возможные процессы конвекции в области решения задачи не учитывались. Считалось, что основным механизмом транспортировки горючего в зону реакции является диффузия. Предполагалось также, что вследствие высокой пористости слоя диспергированной древесины газообразные продукты ее пиролиза свободно фильтруются внутри прогретого слоя под источником нагрева к границе КВ – воздух и поступают в среду окислителя. Дальнейший прогрев газообразного горючего происходит при движении вблизи вертикальных границ $R = R_1$ (см. рис. 1) нагретой до высоких температур частицы.

Система дифференциальных уравнений с соответствующими граничными условиями, описывающая процесс зажигания диспергированного КВ при нагреве одиночной частицей металла в форме диска, приведена ниже:

- уравнение энергии для смеси окислителя (воздуха) с компонентами термического разложения КВ ($R_1 < R < 1$, $Z_1 < Z < Z_2$; $0 < R < 1$, $Z_2 < Z < 1$):

$$\frac{1}{Fo_1} \frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Theta_1}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial Z^2} \right) + Q_o W_o \frac{l^2}{\lambda_1 T_0}; \quad (2)$$

- уравнение энергии для КВ ($0 < X < 1$, $0 < Y < Y_1$):

$$\frac{1}{Fo_3} \frac{\partial \Theta_3}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Theta_3}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial Z^2} \right) + Q_3 W_3 \frac{l^2}{\lambda_3 T_0}; \quad (3)$$

- уравнение теплопроводности для стальной частицы ($0 < R < R_1$, $Z_1 < Z < Z_2$):

$$\frac{1}{Fo_2} \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Theta_2}{\partial R} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Z^2} \right); \quad (4)$$

- уравнение диффузии компонентов термического разложения в среде окислителя ($R_1 < R < 1$, $Z_1 < Z < Z_2$; $0 < R < 1$, $Z_2 < Z < 1$):

$$\frac{\partial C_f^1}{\partial \tau} = Gr_1 \left(\frac{\partial^2 C_f^1}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial C_f^1}{\partial R} + \frac{\partial^2 C_f^1}{\partial Z^2} \right) - W_o \frac{t_0}{\rho_f^1}; \quad (5)$$

- уравнение баланса смеси окислителя с компонентами термического разложения древесины ($R_1 < R < 1$, $Z_1 < Z < Z_2$; $0 < R < 1$, $Z_2 < Z < 1$):

$$C_f^1 + C_o^1 = 1; \quad (6)$$

- теплофизические характеристики диспергированного КВ:

$$\lambda_3 = \lambda_f^3 \varphi_f^3 + \lambda_o^1 \varphi_o^3; C_3 = C_f^3 \varphi_f^3 + C_o^1 \varphi_o^3; \quad (7)$$

$$\rho_3 = \rho_f^3 \varphi_f^3 + \rho_o^1 \varphi_o^3;$$

- объемные доли компонентов газовой смеси (продуктов термической деструкции древесины и воздуха), определяемые из их массовых концентраций в смеси:

$$\varphi_f^1 = \frac{C_f^1 / \rho_f^1}{C_f^1 / \rho_f^1 + C_o^1 / \rho_o^1}; \varphi_f^1 + \varphi_o^1 = 1; \quad (8)$$

- теплофизические характеристики смеси газов с окислителем в воздухе:

$$\lambda_1 = \lambda_f^1 \varphi_f^1 + \lambda_o^1 \varphi_o^1; C_1 = C_f^1 \varphi_f^1 + C_o^1 \varphi_o^1; \quad (9)$$

$$\rho_1 = \rho_f^1 \varphi_f^1 + \rho_o^1 \varphi_o^1;$$

- безразмерные комплексы:

$$Fo = \lambda T_0 / (\rho C l^2); Gr = D t_0 / l^2.$$

В уравнениях (2)–(9) приняты следующие обозначения:

Θ — безразмерная температура, $\Theta_p = T/T_0$;

τ — безразмерное время, $\tau = t/t_0$;

R, Z — безразмерные координаты цилиндрической системы, $R = r/l, Z = z/l$;

W_o — массовая скорость химической реакции окисления, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$;

$W_o = \rho_1 C_o^1 C_f^1 k_1^0 \exp(-E_1/(R T_1))$;

λ_i — коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

ρ_i — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_i — удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

T_i — текущее значение температуры i -го компонента системы, К ;

Q_3 — теплота газификации, $\text{Дж}/\text{кг}$;

W_3 — скорость реакции термического разложения КВ, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$;

$W_3 = \varphi_3 \rho_3 k_3^0 \exp(-E_3/(R T_3))$;

φ_3 — текущее значение объемной доли вещества, способной к химическому реагированию;

k_3^0 — предэкспоненциальный множитель, с^{-1} ;

E_3 — энергия активации термического разложения, $\text{Дж}/\text{моль}$;

C_f^1 — массовая концентрация компонентов термического разложения ($0 < C_f^1 < 1$);

C_o^1 — массовая концентрация окислителя;

φ_f^3, φ_o^3 — объемная доля соответственно древесины и воздуха;

φ_f^1, φ_o^1 — объемная доля соответственно продуктов термической деструкции КВ и воздуха;

D — коэффициент диффузии компонентов термического разложения вещества в воздухе, $\text{м}^2/\text{с}$;

индексы “1”, “2”, “3” соответствуют смеси воздуха с продуктами термического разложения вещества, стальной частице, КВ.

Начальные условия при $\tau = 0$:

- $0 < X < 1, 0 < Y < Y_1$:

$$T_3 = T_0, \varphi_f^3 = \varphi_f^{30};$$

- $0 < X < X_1, Y_1 < Y < Y_2$:

$$T_2 = T_p;$$

- $X_1 < X < 1, Y_1 < Y < Y_2; 0 < X < 1, Y_2 < Y < 1$:

$$T_1 = T_0, C_f^1 = 0.$$

Граничные условия при $0 \leq \tau \leq \tau_d$:

- $R = 0, R = 1, 0 < Z < Z_1$:

$$\partial \Theta_3 / \partial R = 0;$$

- $R = 0, Z_1 < Z < Z_2$:

$$\partial \Theta_2 / \partial R = 0;$$

- $R = 0, Z_2 < Z < 1$:

$$\begin{cases} \partial \Theta_1 / \partial R = 0, \\ \partial C_f^1 / \partial R = 0; \end{cases}$$

- $R = 1, Z_1 < Z < 1$:

$$\begin{cases} \partial \Theta_1 / \partial R = 0, \\ \partial C_f^1 / \partial R = 0; \end{cases}$$

- $Z = 0, 0 < R < 1$:

$$\partial \Theta_3 / \partial Z = 0;$$

- $Z = 1, 0 < R < 1$:

$$\begin{cases} \partial \Theta_1 / \partial Z = 0, \\ \partial C_f^1 / \partial Z = 0; \end{cases}$$

- $R = R_1, Z_1 < Z < Z_2$:

$$\begin{cases} (\lambda_2 / \lambda_1) (\partial \Theta_2 / \partial R) = \partial \Theta_1 / \partial R, \\ \Theta_2 = \Theta_1, \\ \partial C_f^1 / \partial R = 0; \end{cases}$$

- $Z = Z_1, 0 < R < R_1$:

$$\begin{cases} (\lambda_3 / \lambda_2) (\partial \Theta_3 / \partial Z) = \partial \Theta_2 / \partial Z, \\ \Theta_3 = \Theta_2, \\ \partial C_f^1 / \partial Z = 0; \end{cases}$$

- $Z = Z_1, R_1 < R < 1$:

$$\begin{cases} (\lambda_3 / \lambda_1) (\partial \Theta_3 / \partial Z) = \partial \Theta_1 / \partial Z, \\ \Theta_3 = \Theta_1, \\ -(\rho_1 D_1 / W_g) (\partial C_1 / \partial Z) = 1; \end{cases}$$

- $Z = Z_2, 0 < R < R_1$:

$$\begin{cases} (\lambda_2 / \lambda_1) (\partial \Theta_2 / \partial Z) = \partial \Theta_1 / \partial Z, \\ \Theta_2 = \Theta_1, \\ \partial C_f^1 / \partial Z = 0, \end{cases}$$

$$\text{где } W_g = \int_{Z=0}^{Z=Z_1} \varphi_3 \rho_3 k_3^0 \exp\left(-\frac{E_3}{R_1 T_3}\right) dZ.$$

Скорость газификации КВ на участке поверхности, закрытом частицей, определялась соотношением

$$Z = Z_1, \quad 0 < R < R_1, \quad W_{g\Sigma} = \int_{R=0}^{R=R_1} W_g(R) dR. \quad (10)$$

Суммарный газоприход $W_{g\Sigma}$ распределялся в малой окрестности частицы согласно выражению

$$Z = Z_1, \quad R_1 < R < R_1 + 10H_r; \\ W_g^S(R)_k = W_g(R)_k + ((1,1 - 0,1k)/10 \cdot W_{g\Sigma}), \quad (11) \\ k = 1; 2; \dots; 10,$$

где $W_g(R)_k$ — массовая скорость газификации КВ на k -м шаге вдоль оси R без учета дополнительного газоприхода с участка поверхности, закрытого частицей;

$W_g^S(R)_k$ — суммарная скорость газификации КВ на k -м шаге вдоль оси R в окрестности частицы.

Решение задачи (2)–(11) проведено методом конечных разностей с использованием методики и алгоритма, представленных в [20–22].

Цель численного моделирования заключалась в описании исследуемого процесса с использованием определенных по результатам экспериментов кинетических параметров в диапазоне изменения начальных температур источника нагрева от 0,925 до 1,025.

Исследования выполнены при следующих значениях параметров: начальная температура КВ и воздуха $\Theta_0 = 0,256$, стальной частицы $\Theta_p = 0,925 \div 1,025$; температура начала пиролиза вещества $\Theta_c = 0,512$; тепловой эффект реакции термического разложения вещества $Q_3 = 4 \cdot 10^6$ Дж/кг; энергия активации реакции термического разложения $E_3 = 190 \cdot 10^3$ Дж/моль; предэкспоненциальный множитель $k_3^0 = 6,7 \cdot 10^8$ с⁻¹; объемная доля вещества, способного к химическому реагированию, $\varphi_3 = 0,5$.

Теплофизические характеристики взаимодействующих веществ следующие [13, 24, 25]:

$$\lambda_o^1 = 0,026 \text{ Вт/(м·К)}; \rho_o^1 = 1,161 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_o^1 = 1190 \text{ Дж/(кг·К)};$$

$$\lambda_2 = 49 \text{ Вт/(м·К)}; \rho_2 = 7831 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_2 = 470 \text{ Дж/(кг·К)};$$

$$\lambda_f^1 = 0,072 \text{ Вт/(м·К)}; \rho_f^1 = 2,378 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_f^1 = 3876 \text{ Дж/(кг·К)};$$

$$\lambda_f^3 = 0,18 \text{ Вт/(м·К)}; \rho_f^3 = 520 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_f^3 = 2700 \text{ Дж/(кг·К)}.$$

Установлено (см. рис. 2, кривая 2), что экспериментальные и вычисленные по итогам решения задачи (2)–(11) значения τ_d (для идентичных температур) при относительно низких значениях Θ_p отличаются почти на 30 %. Полученные результаты позволяют

сделать вывод, что зависимость τ_d от температуры более сложная, чем в выражении (1). Причины этого, возможно, обусловлены как особенностями механизмов газозафазного зажигания КВ при локальном нагреве [20–22], так и спецификой теплопереноса в прогретом слое диспергированного (пористого) КВ.

В целях формального описания процесса зажигания диспергированной древесины при локальном нагреве проведен анализ полученных экспериментальных данных с учетом возможной зависимости предэкспоненциального множителя от температуры. Получено следующее аппроксимационное выражение:

$$Q_o k_1^0 = (2,194 \cdot 10^6 - 2,917 \cdot 10^6 \Theta_p + 1,351 \cdot 10^6 \Theta_p^2) \text{ Дж/(кг·с)}, \\ \text{при } \Theta_p = 0,925 \div 1,025. \quad (12)$$

На рис. 2 приведена теоретическая зависимость $\tau_d = f(\Theta_p)$ (кривая 3), полученная в результате численного исследования с использованием характеристик (9). Из данной зависимости можно сделать вывод о достаточно хорошем соответствии экспериментальных и расчетных значений τ_d .

Полученные формальные кинетические параметры можно рассматривать как характеристики некоторой эффективной реакции взаимодействия в рассматриваемых условиях продуктов пиролиза диспергированной древесины с окислителем — воздухом. Возможны и более сложные схемы термокинетического взаимодействия газов пиролиза древесины с окислителем с выделением нескольких реагирующих компонентов горючего и стадий каждой реакции. Но такой подход сопряжен не только с необходимостью определения большого числа термокинетических постоянных, но и с существенным усложнением процедуры анализа условий и характеристик зажигания конкретных диспергированных конденсированных веществ.

Заключение

Полученные по результатам экспериментальных и теоретических исследований кинетические параметры зажигания диспергированной древесины являются не только формальными характеристиками сложного комплекса процессов теплопереноса, протекающего при локальном нагреве до высоких температур измельченной древесины. Эти параметры также наглядно иллюстрируют как возможность описания с использованием предложенного подхода рассматриваемого комплекса процессов, так и необходимость проведения для получения кинетических параметров совместных экспериментальных и теоретических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 12-08-33002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vilyunov V. N., Zarko V. E. Ignition of Solids. — Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1989. — 442 p.
2. Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В. Зажигание конденсированного вещества “горячей” частицей // Химическая физика. — 2004. — Т. 23, № 3. — С. 67–72.
3. Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В. Численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40, № 1. — С. 78–85.
4. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
5. Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание пленки керосина одиночной нагретой до высоких температур частицей // Пожарная безопасность. — 2012. — № 3. — С. 87–90.
6. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Механизм зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
7. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И., Панин В. Ф., Равдин Д. С. Оценка пожарной опасности мазута в условиях перегрузки, хранения и транспорта на тепловых электрических станциях // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 313, № 4. — С. 25–28.
8. Захаревич А. В., Кузнецов В. Т., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 54–57.
9. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Зажигание лесных горючих материалов одиночными, нагретыми до высоких температур частицами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 13–16.
10. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И., Мошков А. Г. Условия зажигания отходов деревообработки // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 21–23.
11. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Зажигание типичных лесных горючих материалов опада лиственных пород локальным источником энергии // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 23–28.
12. Глушков Д. О., Стрижак П. А. Особенности постановки задач при численном исследовании зажигания металлизированного конденсированного вещества локальным источником энергии // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 33, № 1. — С. 126–132.
13. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
14. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Нагретые до высоких температур частицы металла как источники локальных возгораний жидких веществ // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 72–76.
15. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности зажигания парогазовой смеси нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 25–33.
16. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной “горячей” частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 13–20.
17. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Моделирование воспламенения жидкого вещества горячей частицей // Химическая физика. — 2009. — Т. 28, № 5. — С. 90–97.
18. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single “hot” particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2008. — Vol. 17, No. 3. — P. 244–252.
19. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. 3D Problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by a heated metal particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — Vol. 17, No. 1. — P. 72–79.
20. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2010. — Vol. 53, No. 5–6. — P. 923–930.
21. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” частицей // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 5. — С. 42–50.
22. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — Vol. 18, No. 2. — P. 162–167.
23. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The Influence of Radiation Heat Exchange on Characteristics of Liquid Fuel Ignition by a Heated Metal Particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2010. — Vol. 19, No. 1. — P. 1–8.

24. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
25. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.; Т. 2. — 896 с.

Материал поступил в редакцию 12 марта 2013 г.

English

DETERMINATION OF IGNITION KINETIC PARAMETERS FOR DISPERSED CONDENSED SUBSTANCE AT LOCAL HEATING

GLUSHKOV D. O., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: dmitriyog@tpu.ru)

ZAKHAREVICH A. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: bet@tpu.ru)

STRIZHAK P. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

ABSTRACT

The technique and results of pilot studies on determination of kinetic parameters of crushed wood (sawdust) ignition at interaction with the single steel particle heated to high temperatures in the form of a disk are presented in work. The analysis of calculated characteristics reliability is carried out with use of the formulated mathematical model of gas-phase ignition process for the dispersed condensed substance at local heating by a single “hot” particle.

It is established that the experimental and calculated results of the ignition delay time rather low values of initial temperature of limited heat source content differ almost for 30 %. It is offered to consider possible dependence of a preexponential factor on temperature for increasing accuracy of numerical research results of dispersed wood ignition process by a local heating source. At the analysis of experimental and theoretical process integrated characteristics at variation of initial temperature local power source rather good compliance of ignition delay time is obtained.

Keywords: dispersed substance; local heating; kinetic parameters; ignition.

REFERENCES

1. Vilyunov V. N., Zarko V. E. *Ignition of Solids*. Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1989. 442 p.
2. Kuznetsov G. V., Mamontov G. Ya., Taratushkina G. V. Zazhiganiye kondensirovannogo veshchestva “goryachey” chastitsey [Ignition of the condensed substance by a “hot” particle]. *Khimicheskaya fizika — Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2004, vol. 23, no. 3, pp. 67–72.
3. Kuznetsov G. V., Mamontov G. Ya., Taratushkina G. V. Chislennoye modelirovaniye zazhiganiya kondensirovannogo veshchestva nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Numerical modeling of condensed substance ignition by the particle heated to high temperatures]. *Fizika gorennya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2004, vol. 40, no. 1, pp. 78–85.
4. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye dizelnogo topliva odinochnoy “goryachey” metallicheskoj chastitsey [Ignition of diesel fuel by a single “hot” metal particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 28–30.
5. Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye plenki kerosina odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Ignition of kerosene film by the single particle heated to high temperatures]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2012, no. 3, pp. 87–90.
6. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. Mekhanizm zazhiganiya benzina odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [The mechanism of gasoline ignition by the single particle heated to high temperatures]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 39–42.
7. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., Panin V. F., Ravdin D. S. Otsenka pozharnoy opasnosti mazuta v usloviyakh peregruzki, khraneniya i transporta na teplovykh elektricheskikh stan-

- tsiyakh [Assessment of fuel oil fire danger in overload conditions, storage and transport at thermal power plants]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 313, no. 4, pp. 25–28.
8. Zakharevich A. V., Kuznetsov V. T., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye modelnykh smesevykh toplivnykh kompozitsiy odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur chastitse [Ignition of composite propellant by a single particle heated to high temperatures]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2008, vol. 44, no. 5, pp. 54–57.
 9. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye lesnykh goryuchikh materialov odinochnymi nagretymi do vysokikh temperatur chastitsami [Ignition of forest fuel materials by the single particles heated up to high temperatures]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 13–16.
 10. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I., Moshkov A. G. Usloviya zazhiganiya otkhodov derevoobrabotki [Conditions of ignition terms the wood waste]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 21–23.
 11. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye tipichnykh lesnykh goryuchikh materialov opada listvennykh porod lokalnym istochnikom energii [Ignition of typical forest fuel leaves of deciduous breeds by a local energy source]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 23–28.
 12. Glushkov D. O., Strizhak P. A. Osobennosti postanovki zadach pri chislennom issledovanii zazhiganiya metallizirovannogo kondensirovannogo veshchestva lokalnym istochnikom energii [Features of statement of tasks at numerical research of metallized condensed substance ignition by a local power source]. *Butlerovskiy soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 33, no. 1, pp. 126–132.
 13. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting: reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.
 14. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Nagretyye do vysokikh temperatur chastitsy metalla kak istochniki lokalnykh vozgoraniy zhidkikh veshchestv [Metal particles heated to high temperatures as sources of liquid substances local ignitions]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 72–76.
 15. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Osobennosti zazhiganiya parogazovoy smesi nagretoy do vysokikh temperatur metallicheskoj chastitse [Features of steam-gas mix ignition by the metal particle heated to high temperatures]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 25–33.
 16. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vosplamneniye pozharoopasnoy zhidkosti odinochnoy “goryachey” chastitse [Ignition of flammable liquid by single “hot” particle]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 13–20.
 17. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Modelirovaniye vosplamneniya zhidkogo veshchestva “goryachey” chastitse [Modeling of liquid substance ignition by a hot particle]. *Khimicheskaya fizika — Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2009, vol. 28, no. 5, pp. 90–97.
 18. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single “hot” particle. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 244–252.
 19. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. 3D Problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by a heated metal particle. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, vol. 17, no. 1, pp. 72–79.
 20. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol. 53, no. 5–6, pp. 923–930.
 21. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye resheniye zadachi vosplamneniya zhidkogo pozharoopasnogo veshchestva odinochnoy “goryachey” chastitse [Numerical solution to the ignition of liquid fire hazardous substances single “hot” particle]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2009, vol. 45, no. 5, pp. 42–50.
 22. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 162–167.
 23. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The Influence of Radiation Heat Exchange on Characteristics of Liquid Fuel Ignition by a Heated Metal Particle. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2010, vol. 19, no. 1, pp. 1–8.
 24. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Publ., 2006. 720 p.
 25. Yurenev V. N., Lebedev P. D. *Teplotekhnicheskii spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975, vol. 1, 743 p.; vol. 2, 896 p.

В. А. УШКОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией "Современные композиционные материалы", Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: kurs-isa@mail.ru)

В. М. ЛАЛАЯН, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

С. М. ЛОМАКИН, канд. хим. наук, заведующий лабораторией химической стойкости полимеров, Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН (Россия, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

Д. И. НЕВЗОРОВ, аспирант кафедры полимерных строительных материалов и прикладной химии, Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: nevzorovdi@yandex.ru)

УДК 678.06

О ВЛИЯНИИ НЕРАЗЛАГАЮЩИХСЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ И ДЫМООБРАЗУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрено влияние содержания и химической природы неразлагающихся минеральных наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов (ПКМ). Совокупность полученных в работе экспериментальных данных показывает, что основным параметром, определяющим влияние неорганического наполнителя на горючесть ПКМ, является количество тепла, поглощаемого наполнителем. Выявлена зависимость кислородного индекса (КИ) полимерных композитов от удельной теплоемкости минеральных наполнителей. Показано, что экспериментальные данные хорошо ложатся на прямую в координатах $100/\text{КИ}$ от k_{q_n} независимо от типа использованного наполнителя. Для всех неразлагающихся наполнителей в широком диапазоне наполнения ПКМ с удовлетворительной степенью точности выполняется линейная зависимость величины $100/\text{КИ}$ от относительного содержания наполнителей, причем тангенс угла наклона прямых к оси абсцисс $\text{tg}\alpha$ пропорционален удельному теплопоглощению наполнителя. Приведены значения $\text{tg}\alpha$ для различных полимеров и неразлагающихся наполнителей. Получено соотношение, позволяющее рассчитывать значения КИ различных ПКМ. Показано, что при содержании до 60 % масс. неразлагающихся минеральных наполнителей практически не снижается воспламеняемость и горючесть ПКМ, но существенно уменьшается их дымообразующая способность.

Ключевые слова: горючесть; неразлагающийся минеральный наполнитель; полимерный композиционный материал; кислородный индекс; удельная теплоемкость; пожарная опасность; коэффициент дымообразования.

Мировое производство полимерных материалов в настоящее время перешагнуло за 200 млн. т в год. В России потребление полимерных материалов возросло с 2,83 млн. т в 2003 г. до 4,9–5,7 млн. т в 2007 г. (это почти 2 % от общего мирового производства полимерных материалов) [1]. Сейчас в России производится около 6 млн. т полимеров и материалов на их основе [2]. Существенным недостатком полимерных композиционных материалов (ПКМ), сдерживающим более широкое применение их в строительстве, является повышенная пожарная опасность [3]. ПКМ, как правило, относятся к горючим материалам с высокой дымообразующей способностью.

Одним из эффективных методов повышения эксплуатационных показателей, снижения пожарной опасности и стоимости полимерных материалов является применение минеральных наполнителей. Наполнители вызывают значительные изменения надструктуры и свойств межфазного слоя композита, влияют на тепло- и массообмен при горении ПКМ. Характер этих изменений зависит от содержания и химической природы наполнителя, дисперсности и формы его частиц и других факторов. Высокодисперсные порошкообразные наполнители адсорбируют на своей поверхности молекулы линейного полимера, что ограничивает их подвижность и приводит к значительному повышению эксплуатаци-

онных свойств ПКМ. Существенное влияние наполнители оказывают и на формирование трехмерной структуры полимеров на основе реакционноспособных олигомеров. Наличие сильно развитой поверхности наполнителя может приводить к росту скорости обрыва реакционных цепей на поверхности наполнителя и к формированию более дефектной структуры трехмерного полимера [1]. Эти факторы могут существенно влиять и на процессы пиролиза наполненных полимеров [4] и, следовательно, на пожарную опасность таких материалов.

Развитие метода полимеризационного наполнения привело к значительному расширению ассортимента неорганических наполнителей, используемых для получения ПКМ. Так, например, разработаны высоконаполненные полиолефины, в которых содержание неорганических наполнителей (перлит, каолин, туф, мел, оксид и гидроксид алюминия) превышает 90 % масс. [5]. Исследованию пожарной опасности полимеров, наполненных неорганическими тонкодисперсными веществами, посвящено небольшое число работ [6, 7]. В связи с этим представляется целесообразным установить влияние содержания и химической природы неразлагающихся минеральных наполнителей на горючесть и дымообразующую способность ПКМ.

В качестве объектов исследования в работе были использованы: полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 10204-003 (ГОСТ 16337-77) и низкого давления (ПЭНД) марки 20208-002 (ГОСТ 16338-85), полипропилен марки 21007 (ГОСТ 26996-86), пластифицированный эпоксидный полимер ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), резина на основе синтетического каучука СКС-30АРКМ-15 (ГОСТ 11138-78) и шинного регенерата РШ (ТУ 38.404.203-90). ПКМ получали по общепринятым методикам. При этом наполненные полиолефины рассматривали и как систему, моделирующую более сложные ПКМ, в том числе склонные к карбонизации в условиях горения.

В качестве неразлагающихся неорганических наполнителей применяли порошкообразные вещества со средним эквивалентным диаметром частиц 10–25 мкм: Al_2O_3 (ГОСТ 30558-98), Bi_2O_3 (ТУ 6-09-02-298-90), CaF_2 (ТУ 6-09-5335-88), CaO (ГОСТ 8677-76), CuO (ГОСТ 16539-79), Fe_2O_3 (ТУ 6-09-1418-88), LiF (ТУ 6-09-3529-84), PbF_2 (ТУ 6-09-2128-77), Sb_2O_3 (ТУ 48-14-1-88), TiO_2 (ГОСТ 9808-84), V_2O_5 (ТУ 6-09-01-466-90), ZnO (ГОСТ 202-84), технический углерод марки АТГ-70, Al (ГОСТ 5494-95), ZrO_2 (ТУ 95-2782-2001), Zn (ГОСТ 12601-76), MgO (ГОСТ 844-79) и другие соединения. Для сравнения использовали CaCO_3 (ГОСТ 12085-88), температуры начала и максимальной скорости разложения которого по данным термического анализа составляют соответственно 620 и 729 °С.

Теплофизические свойства исследованных наполнителей приведены в табл. 1. Молярная масса M_m , плотность ρ , молярная теплоемкость c_p , теплопроводность λ наполнителей при температуре 200 и 300 К получены из работы [8]. При этом следует отметить, что сопоставимые данные по теплопроводности таких соединений в научно-технической литературе отсутствуют.

Кислородный индекс (КИ), температуры воспламенения T_v и самовоспламенения $T_{св}$, коэффициент дымообразования D_m в режиме пиролиза и горения, критическую плотность теплового потока воспламенения $q_{кр}$ ПКМ определяли по ГОСТ 12.1.044-89*. Предельную концентрацию кислорода $C_{пр}$ и скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности $V_{рп}$ ПКМ при различной концентрации кислорода в потоке окислителя изучали по методике [9].

Используя обычные для диффузионного горения полимеров предположения, с учетом тепловых потерь, связанных с конвективным теплообменом, условия теплового баланса можно представить в виде уравнения [10]:

$$\frac{100}{\text{КИ}} = \frac{H - L - c_t(T_f - T_s) - Q_{\text{пот}} - kq_n}{\gamma c_o(T_f - T_o)}, \quad (1)$$

где H , L — удельные значения теплоты соответственно сгорания и газификации полимерного материала;

Таблица 1. Теплофизические свойства неорганических наполнителей

Наполнитель	M_m , кг/моль	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·К)	c_p , Дж/ моль · К	Удельная теплоемкость $c_{уд}$, кДж/(кг·К)
Bi_2O_3	0,466	8900	~0,8	114,00	0,25
Sb_2O_3	0,292	5190	—	111,79	0,38
Zn	0,065	7133	118	25,44	0,39
ZrO_2	0,123	5680	1,6	55,92	0,46
ZnO	0,081	5700	54 (300 К)	40,42	0,50
CuO	0,080	6450	1,01	42,30	0,53
TiO_2	0,080	3840	11,5	55,50	0,69
Fe_2O_3	0,160	5250	—	113,91	0,71
SiO_2	0,060	2650	14,3 (300 К)	44,60	0,74
Al_2O_3	0,102	3970	58 (300 К)	79,03	0,78
CaCO_3	0,100	2710	0,92	81,85	0,82
CaF_2	0,078	3180	12,5 (300 К)	67,03	0,85
Al	0,027	2700	237	24,35	0,90
MgO	0,040	3580	58 (300 К)	37,24	0,93
CaO	0,056	3370	9 (700 К)	42,05	1,29
LiF	0,026	2630	4,01	41,80	1,61

Таблица 2. Горючесть наполненного полиэтилена

Показатель	Наполнитель						
	Al ₂ O ₃	Bi ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	LiF	CaF ₂	Al
Кислородный индекс, %	26,5	27	27	26	27	25,5	25
Удельная теплоемкость наполнителя, кДж/(кг·К)	0,78	0,25	0,71	0,50	1,61	0,86	0,90

c_o , c_T — удельная теплоемкость соответственно окислителя и газообразных продуктов разложения полимера;

T_0 , T_s , T_f — температуры соответственно окружающей среды, горячей поверхности и пламени;

$Q_{\text{пот}}$ — удельные тепловые потери от пламени;

k — относительная степень наполнения;

q_n — удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем в процессе горения;

γ — массовый стехиометрический коэффициент сгорания топлива; $\gamma = \dot{m}_o / \dot{m}_T$;

$\dot{m}_o$, $\dot{m}_T$ — массовые потоки соответственно окислителя и топлива.

Для полимеров, не образующих при пиролизе карбонизованного остатка, $k = m_n / m_T$, для ПКМ на основе карбонизирующихся полимеров — $k = m_n / [m_T(1 - \delta)]$ (где m_n , m_T — масса соответственно наполнителя и полимера; δ — степень карбонизации полимерного связующего).

Несмотря на ограниченное количество измерений температуры пламени и большой разброс экспериментальных данных принято считать, что на пределе горения температура T_f изменяется незначительно. В ведущей кромке пламени значение температуры пламени колеблется от 700...800 до 1200...1300 °С. Поэтому значение $(T_f - T_0)$ можно принять постоянным (1000 °С) для всех исследованных ПКМ. Постоянной можно считать и температуру горячей поверхности наполненных композитов: $T_f - T_0 = 600$ °С [10].

Влияние неразлагающихся минеральных наполнителей на диффузионное горение ПКМ связано с дополнительными затратами тепла на их нагрев до температуры горячей поверхности. Количество тепла, поглощаемого наполнителем в условиях горения ПКМ, $kq_n = kc_{уд}(T_s - T_0)$. Следовательно, ПКМ, наполненные неразлагающимися наполнителями с различной удельной теплоемкостью из условия $kq_n = \text{const}$, будут иметь близкие значения КИ. Этот вывод подтверждается результатами измерений КИ всех исследованных ПКМ. В качестве примера в табл. 2 приведены значения КИ ПЭНД, наполненного из условия $kc_{уд} = 9,5$ кДж/(кг·К). Различие экспериментальных значений КИ наполненного полиэтилена носит случайный характер и связано с ошибками измерений, которые при высокой степени наполнения ($k > 10$) могут быть большими. При этом теплопроводность наполненных полиолефинов не оказывает заметного влияния на КИ наполненного полиэтилена. Так, например, при наполнении ПЭВД металлическими порошками ($k = 10$) теплопроводность композиций возросла более чем на два порядка, однако КИ композита практически не изменялся.

Влияние химической природы неразлагающихся наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность пластифицированного эпоксидного полимера ЭД-20 и резин на основе синтетического каучука СКС-30АРКМ-15 и шинного регенерата РШ показано в табл. 3 и 4. Из приведенных в табл. 3 данных следует, что химическая природа минераль-

Таблица 3. Горючесть и дымообразующая способность наполненных и пластифицированных эпоксидных композиций

Наполнитель	$T_{\text{св}}$, °С	КИ, %	$c_{\text{пр}}$, %	$q_{\text{кр}}$, кВт/м ²	$V_{\text{рп}}$, мм/с, при [O ₂] в окислителе, %		D_m , м ² /кг, в режиме	
					35	45	пиролиза	горения
—	470	19,3	20,1	10,3	0,41	0,74	1470	800
CaO	480	21,2	26,8	11,7	0,25	0,46	520	350
CaCO ₃	495	20,5	25,3	11,4	0,23	0,51	790	390
Ca(OH) ₂	480	20,1	24,0	11,2	0,30	0,56	410	290
MgO	490	20,6	25,6	11,7	0,25	0,45	720	400
Al ₂ O ₃	490	20,1	23,5	10,8	0,24	0,39	800	460
Ba(OH) ₂	480	22,1	30,2	14,3	0,10	0,29	650	370
CuO	480	19,8	21,2	10,6	0,25	0,40	590	480
Fe ₂ O ₃	500	22,9	26,7	—	0,25	0,49	760	500
Sb ₂ O ₃	510	20,6	25,4	11,2	0,13	0,61	630	470

Примечание. Содержание наполнителей — 43,5 % масс., пластификатора (диоктилфталата) — 8,7 % масс.

Таблица 4. Горючесть и дымообразующая способность резин на основе СКС-30АРКМ-15

Показатель	Наполнитель						
	Zn	Sb ₂ O ₃	PbF ₂	CuO	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
Кислородный индекс, %	19,5	21,7	21,7	20,0	19,9	20,2	22,6
Предельная концентрация кислорода, %	24,4	29,1	25,0	22,8	21,9	27,1	33,2
Скорость распространения пламени $V_{рп}$, мм/с, при [O ₂] в окислителе, %:							
30	0,21	0,21	0,53	0,30	0,14	0,16	—
40	0,53	0,53	0,91	0,66	0,34	0,34	0,36
50	—	0,85	1,45	1,05	0,91	0,57	0,57
Теплота сгорания, кДж/кг	—	19194	—	—	—	19556	17208
Коэффициент дымообразования D_m , м ² /кг, в режиме:							
пиролиза	350	360	—	530	320	370	110
горения	470	490	—	430	510	400	430

Примечание. Содержание РШ — 24,2 % масс., неорганических наполнителей — 45 % масс.

ных наполнителей слабо влияет на предельные характеристики горения эпоксидных композиций: КИ = 19,8...22,9 %, $C_{пр}$ = 21,2...27,7 %, $T_{св}$ = 480...510 °С, $q_{кр}$ = 10,6...14,3 кВт/м². Значения $V_{рп}$ эпоксидных композиций близки (см. табл. 3), что отражает, по-видимому, определяющий вклад эффекта объемного разбавления конденсированного топлива. В этом случае для обеспечения необходимого потока горючих продуктов пиролиза в зону пламени требуется образование большего по толщине в сравнении с исходным полимером прогретого слоя. Зависимость КИ ПКМ от удельной теплоемкости минеральных наполнителей при степени наполнения порядка 45 % показана на рис. 1. Экспериментальные данные хорошо ложатся на прямую в координатах 100/КИ от kq_n независимо от типа использованного наполнителя (рис. 2). Хорошее согласование экспериментальных результатов с линейной зависимостью наблюдается во всем диапазоне степени наполнения ПКМ.

При наполнении синтетических каучуков техническим углеродом марки АТГ-70 до 50 % масс. воспламеняемость продуктов вулканизации также незначительно снижается: КИ возрастает с 18,6 до 19,8 %, температуры T_b и $T_{св}$ повышаются соответственно с 320 до 330 °С и с 360 до 385 °С. Автокаталитическое окисление технического углерода, сопровождающееся выделением большого количества тепла, препятствует более существенному снижению горючести электропроводящих резин. Это особенно сильно проявляется при введении в электропроводящие композиции галогенсодержащих антипиренов. Для резин, наполненных неразлагающимися соединениями, наблюдается линейная зависимость $V_{рп}$ от концентрации кислорода в окислителе.

С ростом содержания неразлагающихся минеральных наполнителей (до 61 % масс.) воспламеняемость исследованных ПКМ незначительно снижается: T_b и $T_{св}$ повышаются соответственно на 25–35 и 10–35 °С, а $q_{кр}$ линейно возрастает на 1,5–2,0 кВт/м². КИ наполненных полипропилена, резины на основе СКС-30АРКМ-15 и пластифицированного поли-

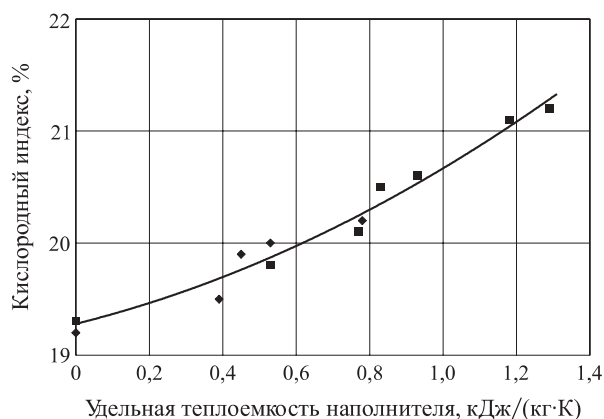


Рис. 1. Зависимость КИ ПКМ от удельной теплоемкости $c_{уд}$ минеральных наполнителей

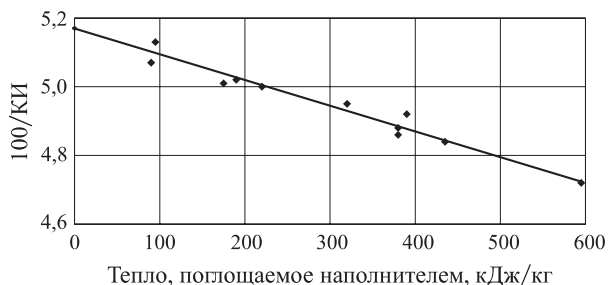


Рис. 2. Зависимость КИ пластифицированного полимера ЭД-20 и резин на основе каучука СКС-30АРКМ-15 от количества тепла, поглощаемого неразлагающимся наполнителем kq_n

мера ЭД-20 (рис. 3) увеличивается соответственно с 17,4 до 19,1–19,4 %, с 19,1 до 22,8–23,4 % и с 19,4 до 20,3–21,5 %. В то же время дымообразующая способность ПКМ при степени наполнения более 50 % масс. существенно снижается (рис. 4).

Для всех исследованных неразлагающихся наполнителей в широком диапазоне степени наполне-

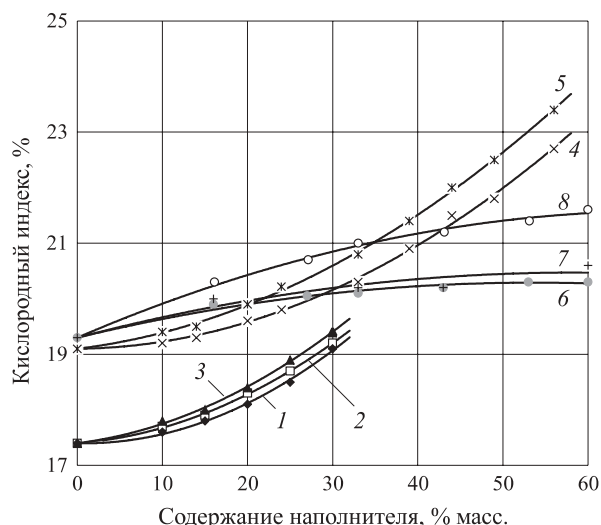


Рис. 3. Зависимость КИ полипропилена (1–3), резины на основе СКС-30АРКМ-15 (4, 5) и пластифицированного полимера ЭД-20 (6–8) от содержания минеральных наполнителей: 1, 5, 7 — мел; 2 — TiO_2 ; 3 — ZnO ; 4 — SiO_2 ; 6 — Al_2O_3 ; 8 — CaO

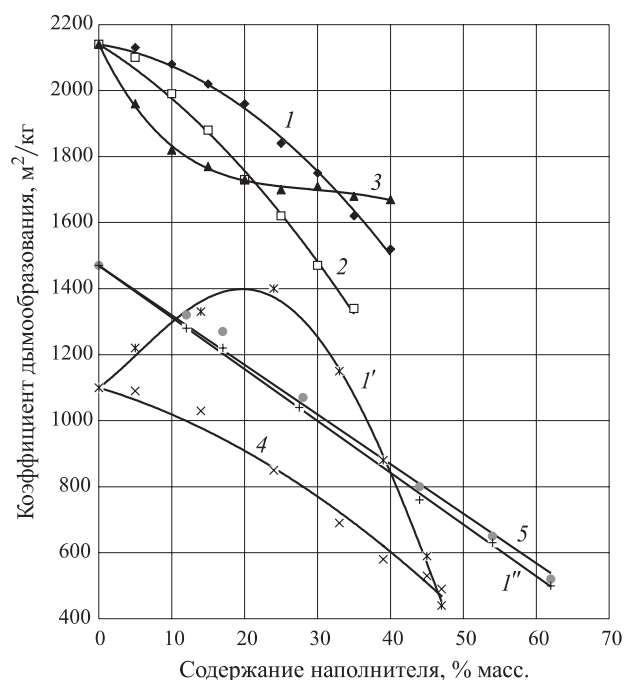


Рис. 4. Зависимость дымообразующей способности полипропилена (1–3), резины на основе синтетических каучуков (1', 4) и пластифицированного полимера ЭД-20 (1'', 5) в режиме пиролиза от содержания неразлагающихся минеральных наполнителей: 1, 1', 1'' — мел; 2 — ZnO ; 3 — TiO_2 ; 4 — SiO_2 ; 5 — Al_2O_3

ния ПКМ с удовлетворительной степенью точности выполняется линейная зависимость $100/\text{КИ}$ от относительного содержания наполнителей (рис. 5 и 6). Причем тангенс угла наклона прямых $\text{tg}\alpha$ к оси абсцисс пропорционален удельному теплопоглощению наполнителя q_n . Значения $\text{tg}\alpha$ для ПКМ на основе различных полимеров и неразлагающихся наполнителей приведены в табл. 5.

Приведенные в табл. 5 данные показывают, что для полимеров (полиолефинов), разлагающихся прак-



Рис. 5. Зависимость воспламеняемости высоконаполненного полиэтилена от относительного содержания наполнителя k : 1 — PbO ; 2 — Al ; 3 — Al_2O_3 ; 4 — LiF

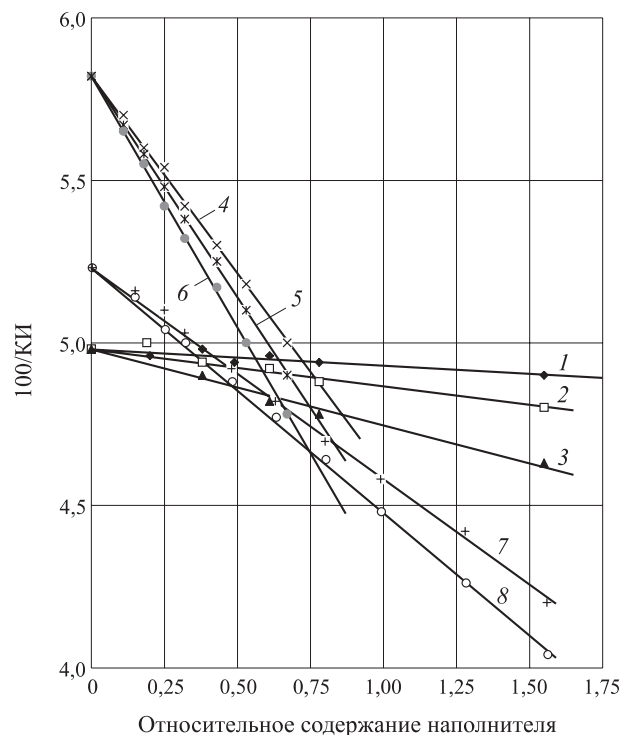


Рис. 6. Зависимость воспламеняемости наполненных пластифицированного полимера ЭД-20 (1–3), полипропилена (4–6) и резины на основе каучука СКС-30АРКМ-15 (7, 8) от относительного содержания наполнителя k : 1 — Al_2O_3 ; 2, 4, 7 — CaCO_3 ; 3 — CaO ; 5 — TiO_2 ; 6 — ZnO ; 8 — SiO_2

Таблица 5. Значения $\text{tg}\alpha$ для ПКМ с различными неразлагающимися наполнителями

ПКМ	Наполнитель	$\text{tg}\alpha$
Полипропилен	CaCO_3	1,25
	TiO_2	1,36
	ZnO	1,54
Полиэтилен	PbO	0,08
	Al	0,21
	Al_2O_3	0,25
	LiF	0,35
Пластифицированный полимер ЭД-20	Al_2O_3	0,04
	CaCO_3	0,13
	CaO	0,24
Резины на основе каучука СКС-30АРКМ-15	CaCO_3	0,67
	SiO_2	0,77

тически полностью при повышенных температурах, $\text{tg}\alpha$ имеет более высокие значения, чем для полимеров, склонных к карбонизации. Поэтому у трехмерных полимеров (ЭД-20) эффективность неразлагающихся наполнителей значительно меньше, чем у линейных.

Параметр $\text{tg}\alpha$ может быть использован для нахождения стехиометрического коэффициента сгорания исследованных полимерных композиций. Этот вывод служит косвенным подтверждением достоверности принятой тепловой модели снижения горючести ПКМ.

Линейный характер зависимости $100/\text{КИ}$ от k позволяет получить простое эмпирическое соотношение, пригодное для расчета КИ:

- для наполненных полимерных материалов в виде:

$$\text{КИ} = 100/(A - Bkc_{\text{уд}}); \quad (2)$$

- для полиолефинов:

$$\text{КИ} = 100/(5,7 - 1,6kc_{\text{уд}}); \quad (2')$$

где A — отношение $100/\text{КИ}$ исходного полимера;
 B — коэффициент пропорциональности.

В таком виде расчетное соотношение хорошо описывает все полученные экспериментальные результаты по оценке горючести ПКМ методом КИ и может быть использовано для оценки абсолютных значений КИ различных ПКМ.

Таким образом, неразлагающиеся минеральные наполнители при их содержании в ПКМ до 60 % масс. практически не снижают воспламеняемость и горючесть ПКМ, но существенно уменьшают их дымообразующую способность. Совокупность полученных в работе экспериментальных данных свидетельствует о том, что основным параметром, определяющим влияние неорганического наполнителя на горючесть ПКМ, является удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем. Поэтому выбор минеральных наполнителей следует проводить лишь с учетом требуемых эксплуатационных показателей ПКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С., Горбаткина Ю. А., Крыжановский В. К., Куперман А. М., Симонов-Емельянов И. Д., Халиулин В. И., Бунаков В. А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / Под общ. ред. А. А. Берлина. — СПб.: Профессия, 2008. — 506 с.
2. Калинин Э. П. Полимерные материалы — важный фактор химизации экономики страны // Пластические массы. — 2010. — № 1. — С. 10–20.
3. Михайлин Ю. А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. — СПб.: Научные основы и технологии, 2011. — С. 164–250.
4. Брык М. Т. Деструкция наполненных полимеров. — М.: Химия, 1989. — 192 с.
5. Сирота А. Г. Модификация структуры и свойств полиолефинов. — Л.: Химия, 1984. — 127 с.
6. Ушков В. А., Лалаян В. М., Нагановский Ю. К., Кулев Д. Х. и др. Горючесть наполненных полиолефинов // Пластические массы. — 1988. — № 10. — С. 56–58.
7. Ушков В. А., Абрамов В. В., Лалаян В. М., Кирьянова Л. В. Слабогорючие эпоксидные полимеррастворы, используемые для восстановления и ремонта строительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 36–40.
8. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М., Бродов М. Е., Быстров М. В., Виноградов Б. В. Физические величины: справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
9. Ушков В. А., Лалаян В. М., Скореева Е. В. Распространение пламени по поверхности строительных пенопластов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 23–28.
10. Лалаян В. М., Скраливецкая М. С., Ушков В. А., Халтуринский Н. А. Термохимические параметры свечного горения полимерных материалов вблизи предела // Химическая физика. — 1989. — Т. 8, № 1. — С. 112–115.

Материал поступил в редакцию 22 марта 2013 г.

ABOUT INFLUENCE OF NON-DEGRADABLE FILLERS FOR FLAMMABILITY AND SMOKE-FORMING ABILITY OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

USHKOV V. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory "Modern Composite Materials", Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: kurs-isa@mail.ru)

LALAYAN V. M., Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119991, Russian Federation)

LOMAKIN S. M., Candidate of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Chemical Resistance of Polymers, N. M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119334, Russian Federation)

NEVZOROV D. I., Postgraduate of Polymer Building Materials and Applied Chemistry Department, Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: nevzorovdi@yandex.ru)

ABSTRACT

The influence of the content and the chemical nature of non-degradable mineral fillers on the flammability and smoke-forming ability of polymeric composite materials. The set obtained in the experimental data shows that the main parameter that determines the effect of inorganic filler on flammability polymeric composite materials, is the amount of heat absorbed by the filler. The dependence of the oxygen index (OI) of polymer composites on the specific heat capacity of mineral fillers. Shown to that the experimental data fit well to the line in the coordinates $100/OI$ or kq_H regardless of the type of filler used. For all non-degradable fillers in a wide range of filling with satisfactory accuracy is performed $100/OI$ linear dependence of the relative content of fillers, and the slope of the line to the horizontal axis ($\text{tg}\alpha$) is proportional to the specific heat absorption of the filler. $\text{tg}\alpha$ shows the values for the various non-degradable polymers and fillers. A relation to compute the values of oxygen index of various polymeric composite materials. Shown that when the content of up to 60 wt. % of non-degradable mineral fillers practically does not reduce flammability and combustibility of polymeric composite materials, but significantly reduce their smoke-forming ability.

Keywords: flammability; non-degradable mineral filler; polymer composite material; oxygen index; specific heat; fire danger; coefficient of smoke.

REFERENCES

1. Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S., Gorbatkina Yu. A., Kryzhanovskiy V. K., Kuperman A. M., Simonov-Emelyanov I. D., Khaliulin V. I., Bunakov V. A. Ed. A. A. Berlin. *Polimernyye kompozitsionnyye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya* [Polymeric composite materials: structure, properties, technology]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2008. 506 p.
2. Kalinchev E. P. Polimernyye materialy — vazhnyy faktor khimizatsii ekonomiki strany [Polymeric materials — an important factor in the country's economy chemicalization]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 2010, no. 1, pp. 10–20.
3. Mikhailin Yu. A. *Teplo-, termo- i ognestoykost polimernykh materialov* [Heat, thermo and flame resistance of polymeric materials]. St. Petersburg, Nauchnyye osnovy i tekhnologii Publ., 2011, pp. 164–250.
4. Bryk B. W. *Destruktsiya napolnennykh polimerov* [Destruction of the filled polymer]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 192 p.
5. Sirota A. G. *Modifikatsiya struktury i svoystv poliolefinov* [Modification of the structure and properties of polyolefins]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984. 127 p.
6. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Naganovskiy Yu. K., Kulev D. Kh. et al. Goryuchest napolnennykh poliolefinov [Flammability filled polyolefins]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 1988, no. 10, pp. 56–58.

7. Ushkov V. A., Abramov V. V., Lalayan V. M., Kiryanova L. V. Slabogoryuchiye epoksidnyye polimer-rastvory, ispolzuyemyye dlya vosstanovleniya i remonta stroitelnykh konstruktсий [Hard combustible epoxy polymer solutions in restoration and repair of building constructions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 36–40.
8. Babichev A. P., Babushkina N. A., Bratkovskiy A. M., Brodov M. E., Bystrov M. V., Vinogradov B. V. Eds. Grigoryeva I. S., Meylikhova E. Z. *Fizicheskiye velichiny: spravochnik* [Physical quantities. Handbook]. Moscow, Energopromizdat Publ., 1991. 1232 p.
9. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Skoreva E. V. Rasprostraneniye plameni po poverkhnosti stroitelnykh penoplastov [Flame spread over construction foam plastic surfaces]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 23–28.
10. Lalayan V. M., Skralivetskaya M. S., Ushkov V. A., Khalturinskiy N. A. Termokhimicheskiye parametry svechevogo goreniya polimernykh materialov vblizi predela [Thermochemical parameters candle burning plastics near the limit]. *Khimicheskaya fizika — Chemical Physics*, 1989, no. 11, pp. 112–115.



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 этих 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.

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

С. А. МЕЩЕРИН, аспирант, Московский физико-технический институт (Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; e-mail: sergey.metcherin@gmail.com)

И. А. КИРИЛЛОВ, канд. физ.-мат. наук, Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" (Россия, 123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1; e-mail: kirillov.igor@gmail.com)

С. В. КЛИМЕНКО, д-р физ.-мат. наук, Автономная некоммерческая организация "Институт физико-технической информатики" (Россия, 142284, Московская обл., г. Протвино, Заводской пр., 6; e-mail: stanislav.klimenko@gmail.com)

УДК 004.822

МЕТАМОДЕЛЬ СОВМЕСТНО ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОСОЗНАНИЯ СИТУАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТОЙКОСТЬЮ СООРУЖЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Рассмотрена одна из задач крупного исследовательского проекта, нацеленного на создание методологической основы для разработки "системы систем", предназначенной для управления кризисными ситуациями в инженерной среде зданий/сооружений. Показано, что в отличие от текущих специализированных ведомственных электронных систем экстренного реагирования, нацеленных в основном на реакцию и восстановление после кризисной ситуации, предложенная "система систем" формирует совместное осознание ситуации для всех заинтересованных служб (МЧС, полиция, медицинские службы), а также обычных граждан, находящихся в зоне риска. Одним из основных элементов разрабатываемой системы является онтология, в которой формализована основная деятельность по всем этапам кризисной ситуации. Описана метамодель оперативной обстановки ситуации и ее отличие от предыдущих и текущих исследований.

Ключевые слова: кризисная ситуация; метамодель; онтология; инженерная среда; стойкость; риск-информированный подход.

Введение

В настоящее время безопасность населения в инженерной среде зданий/сооружений становится одной из ключевых проблем. На протяжении предыдущего десятилетия риски, связанные с чрезвычайными ситуациями (природные и техногенные катастрофы, террористические акты), и их влияние на общество неуклонно росли (рис. 1).

Катастрофа 11 сентября 2001 г. в Нью-Йорке, цунами в юго-восточной Азии, террористические атаки в метро Токио и Мадрида, землетрясения в Чили и Гаити — наиболее известные примеры недавних катастроф мирового масштаба.

Статистика страховых компаний, общественные настроения и экономическая потребность привели к пересмотру текущих парадигм обеспечения безопасности для объектов с высокой плотностью населения и/или большой плотностью ресурсов (рис. 2). Примером таких объектов могут служить крупные мегаполисы, столицы государств, крупные агломерации (Москва и ее спутники, штат Калифорния в США), мировые логистические центры (Роттердамская гавань), нефтяные или газовые вышки (в Северном море и Мексиканском заливе).

В мировом масштабе было реализовано несколько программ для разработки инструментов по уменьшению рисков, предотвращению и повышению уровня подготовленности к ЧС [3, 4].

В США деятельность в этом направлении в основном координируется федеральным агентством по управлению в чрезвычайных ситуациях (FEMA, www.fema.gov), национальным научным фондом (NSF, www.nsf.gov).

В Евросоюзе планирование и координация работ по предотвращению и ликвидации ЧС ведется в рамках программы Cordis (cordis.europa.eu).

В России в пп. 107 и 108 стратегии национальной безопасности¹ обозначено две цели:

- привлечение "...информационных ресурсов заинтересованных органов государственной власти и государственных научных учреждений с использованием системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия...";
- "...обеспечить условия для гармонизации национальной информационной инфраструктуры с

¹ Стратегия национальной безопасности, указ президента РФ № 537 (2009).

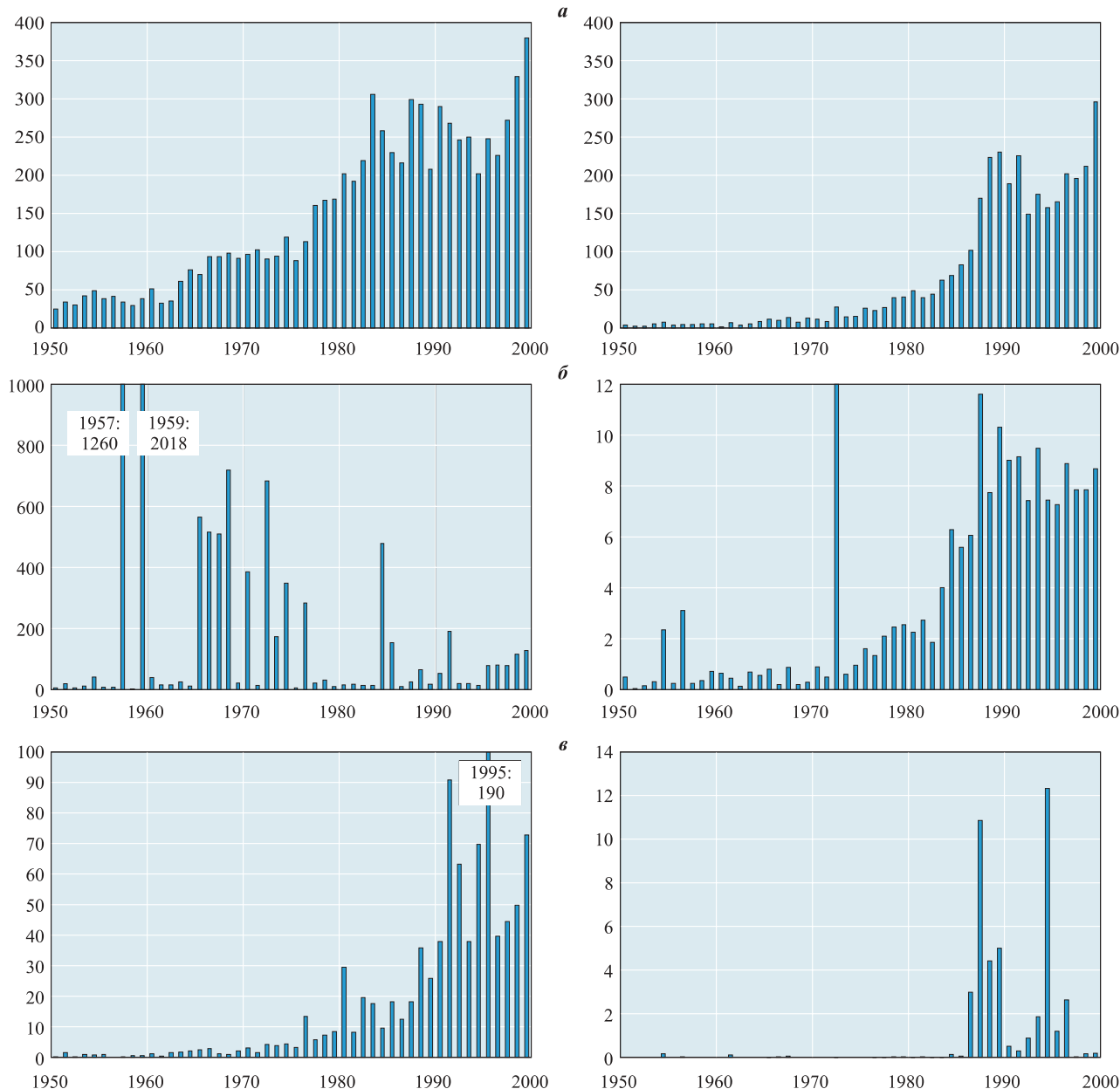


Рис. 1. Количество крупных ЧС (а), смертельных исходов при них (б) и финансовых потерь от них (в) согласно [1]: слева — стихийные бедствия, справа — техногенные катастрофы

глобальными информационными сетями и системами...», связанные с управлением кризисными ситуациями.

По факту упомянутая национальная стратегия подразумевает разработку «системы систем», т. е. объединение специализированных ведомственных информационных систем в единую комплексную систему, которая имеет большую функциональность и производительность, чем совокупность отдельных специализированных систем.

Все упомянутые программы были инициированы в результате неспособности существующих теоретических и организационных парадигм удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к обеспечению безопасности.

Управление стойкостью зданий — новая парадигма управления кризисными ситуациями

Эволюция парадигм управления кризисом

До крупномасштабных ЧС на производстве (Бхопал, Индия; Севезо, Италия²) в 70-х годах прошлого века теоретические основы управления ЧС базировались на теории надежности технических систем. Главным критерием безопасности системы являлась ее надежность. Вредоносные последствия возможного инцидента не учитывались. Считалось, что благодаря высокой надежности можно создать систему

² Директива EU SEVESO II, EU (1982).

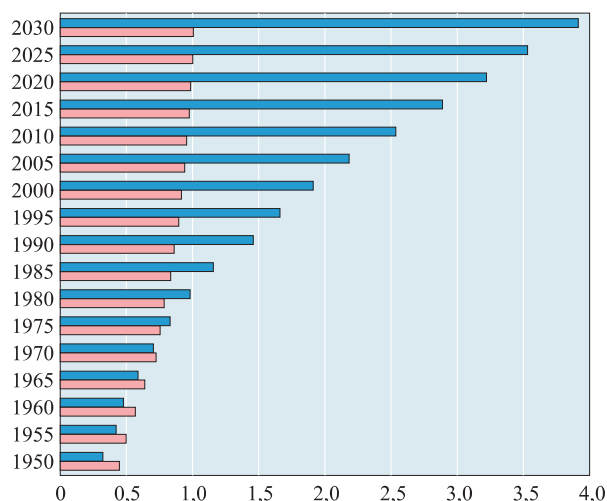


Рис. 2. Городское население (в миллиардах) в развитых и развивающихся странах по отчету ООН [2]

с “нулевым риском” по отношению к аварии или стихийному бедствию.

После нескольких ЧС в ядерной энергетике (АЭС Три-Майл-Айленд, США; Чернобыль, СССР) в 80-х годах прошлого века произошел серьезный сдвиг от концепции надежности к риск-информированному подходу [5]. В этой парадигме за меру безопасности принят риск. При оценке риска предполагается, что техническое и организационное обеспечение гарантирует безопасность для актива (люди, собственность, окружающая среда) в рамках системы под воздействием риска (рис. 3), если риск для актива не превышает допустимого уровня.

В настоящее время риск-информированный подход является доминирующим практически для всех отраслей, для которых безопасность имеет высший приоритет: ядерной энергетике [6], национальной безопасности [7], безопасности на транспорте [8] и для других отраслей — от исследования космоса до медицины.

Однако две катастрофы последнего десятилетия — террористическая атака 11 сентября 2001 г. в Нью-Йорке и авария на атомной станции на Фукусиме в марте 2011 г. однозначно показали, что риск-информированная парадигма имеет свои ограничения и недостатки. Логично предположить, что она должна эволюционировать в новую парадигму.

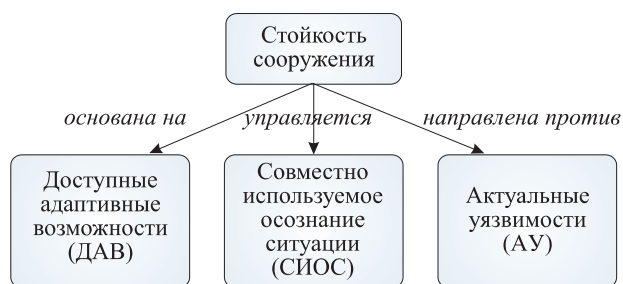


Рис. 3. Три составляющих управления стойкостью [11]

В обоих упомянутых случаях ответственные лица и владельцы объектов имели в своем распоряжении большое количество ресурсов, а также большой опыт в предотвращении ЧС и управлении риском. Однако они не смогли использовать свои возможности эффективно по причине отсутствия подходящей парадигмы.

Общие признаки масштабных ЧС могут быть показаны на примере катастрофы “9/11”:

- отсутствие общей картины ситуации между различными участниками ликвидации ЧС. Полиция и пожарные бригады имели несколько каналов взаимодействия, но отсутствие однозначно понимаемой и разделяемой всеми участниками ЧС картины ситуации (по факту — единого стандарта управления ЧС) препятствовало своевременной координации полиции, пожарных и муниципальных властей;
- отсутствие мониторинга повреждений здания в режиме реального времени;
- существование уязвимостей на момент атаки. Например, низкая устойчивость к огню защитных элементов стальных конструкций вследствие недавнего ремонта; низкая производительность пожарных гидрантов. В 2001 г. методологии оценки уязвимости важных компонентов здания отсутствовали, и даже необходимость самой методологии не была осознана;
- адаптивные свойства здания (живучесть конструкции, производительность пожарных гидрантов, пропускная способность путей эвакуации) и адаптивные свойства близлежащей инфраструктуры (топология и производительность водоснабжения) были недостаточны для предотвращения катастрофы.

Другими словами, несмотря на высокую технологичность инфраструктуры Нью-Йорка и достаточно большие ресурсы первых ликвидаторов аварии (пожарных, медиков, полиции), последствия трагедии не были минимизированы вследствие недостаточной общей стойкости здания.

Для того чтобы обеспечить более эффективное решение проблемы безопасности государственных активов, разумно проанализировать предыдущий негативный опыт, полученный в ходе предыдущих катастроф, подобных “9/11” и аварии на Фукусиме, в контексте повышения *стойкости* зданий к различным видам ЧС. Идея управления стойкостью возникла в ходе научного анализа последствий катастрофы “9/11” [9] и в дальнейшем была проработана в [10, 11].

Парадигма управления стойкостью [11] подразумевает, что увеличение уровня защиты зданий должно быть обеспечено тремя основными процессами:

- риск-информированным мониторингом доступных адаптивных возможностей (ДАВ);
- риск-информированным мониторингом актуальных уязвимостей (АУ);
- риск-информированным мониторингом и управлением совместно используемым (между участниками процесса — населением, подвергнутым риску, спасательными командами, полицией, пожарными бригадами, муниципальными властями) осознанием ситуации (СИОС).

Совместное осознание ситуации в управлении стойкостью

Совместное осознание ситуации — это основной инструмент в рамках парадигмы управления стойкостью. Оно должно обеспечивать информационную поддержку как процесса принятия решений, так и координацию действий различных участников процесса на протяжении всего жизненного цикла кризисной ситуации.

Реализация всеобъемлющей, гибкой и актуальной СИОС требует технологической и семантической интеграции и интероперабельности нескольких информационных систем разных участников процесса (рис. 4). Интеграция необходима, в первую очередь, между традиционными государственными службами (например, медицинские службы, экстренные службы, полиция и т. д.) и между их информационными системами.

Проблема построения СИОС в существующих системах управления кризисом

Превентивный и реагирующий подходы

Основной недостаток текущих парадигм обеспечения безопасности в их *де-факто* реактивной природе.

Де-юре почти все национальные и международные системы управления кризисом следуют пре-



Рис. 4. Участники управления ЧС и совместно используемое осознание ситуации

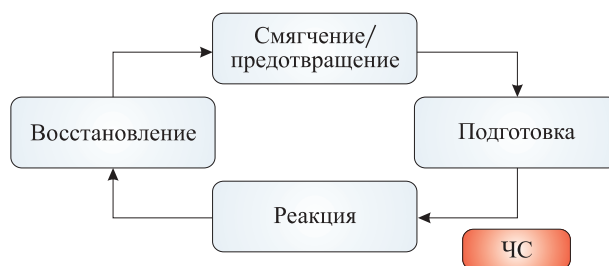


Рис. 5. Традиционный жизненный цикл управления ЧС [12]

вентивному подходу для обеспечения безопасности. Этот подход подчеркивает необходимость в предотвращении и подготовке (действия, направленные на предотвращение ЧС или, в случае неизбежности, к эффективной ликвидации ее последствий) и в смягчении (действия по смягчению последствий ЧС, когда последняя уже произошла) (рис. 5). Превентивный подход был разработан для того, чтобы предугадывать и предотвращать ЧС.

Однако на практике действия со стороны государственных и частных участников ликвидации ЧС осуществляются уже *после* возникновения ЧС. Эта тенденция очень распространена. Например, модель кризисной ситуации, разработанная в рамках проекта OASIS (Open Advanced System for Disaster & Emergency Management) в 2005 г. [13], содержит концепции, касающиеся исключительно фаз реакции и восстановления после ЧС.

Конкретные инструменты, которые могут быть полезны для предотвращения или подготовки к ЧС, в модели OASIS отсутствуют (см. ниже). Нет их и в других текущих проектах по моделированию ЧС [14, 15].

Разные временные масштабы в управлении стойкостью

Большинство существующих информационных систем для управления кризисом (СУКС) построены исходя из того, что ЧС — это внезапное широкомасштабное событие, которое сложно предсказать [16]. Это подразумевает, что, во-первых, продолжительность ЧС пренебрежимо мала по сравнению с временами процедур по управлению кризисом и, во-вторых, эскалация ситуации на объект защиты (здание, транспортный узел) не может быть отслежена на уровне СУКС.

В действительности, развитие ЧС (внутри или вовне объекта защиты) имеет свою конечную продолжительность. Последовательность вредоносных процессов (источников ЧС) может быть описана количественно с помощью измеряемых или вычисляемых факторов (индикаторов). Другими словами, развитие ЧС может быть формализовано в виде цикла, описывающего объект защиты (ОЗ). Этот цикл отличен от цикла управления ЧС (рис. 6).

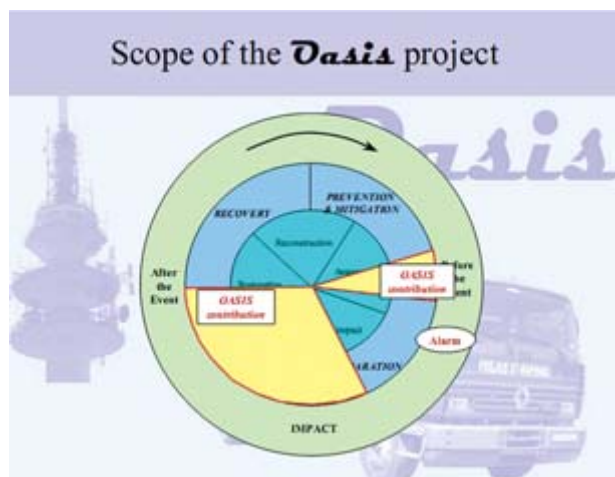


Рис. 6. Покрытие кризисного цикла моделью проекта OASIS (<http://www.tacticalsituationobject.org/index.html>)

Каждой ЧС для данного ОЗ предшествует набор измеряемых прекурсоров и набор отклонений от нормального режима работы. Прекурсоры могут быть обнаружены с помощью внешних наблюдателей или внутренних (по отношению к ОЗ) мониторингов. Аномалии в производительности могут быть обнаружены и отслежены информационной системой ОЗ. Быстрая и точная обработка информации о прекурсорах, поступающей от внешних и внутренних источников, может помочь предотвратить ЧС.

На этапе кризиса как внутренняя устойчивость (например, устойчивость здания к пожару), так и активация средств смягчения (например, противопожарных спринклеров) могут предотвратить или, как минимум, замедлить эскалацию инцидента в ЧС.

Согласно концепции управления стойкостью на этапах кризиса и предкризиса наличие СИОС крайне важно (рис. 7). Персонал внутри объекта защиты, внешние наблюдатели, внешние и внутренние информационные системы должны иметь общий пул

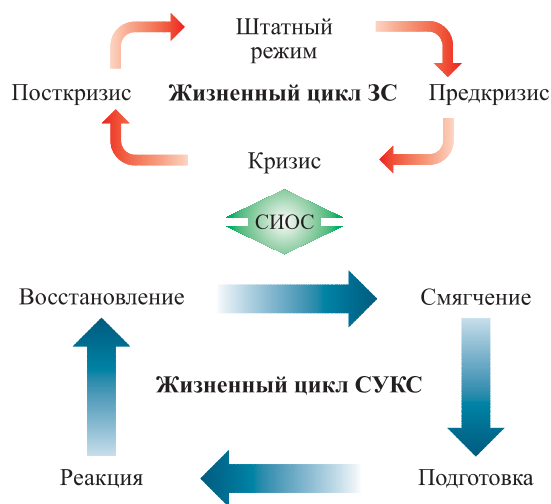


Рис. 7. Разные временные масштабы жизненных циклов ОЗ и СУКС

с информацией о текущей ситуации. Для моделирования информации для обмена нужны как минимум две подмодели: одна — для описания состояния ОЗ, другая — для описания действий по ликвидации ЧС, предназначенная для внешних участников процесса. При этом подмодель объекта защиты должна описывать последнюю с большой детализацией.

Ресурсы негосударственных и добровольческих организаций

Качество и завершенность СИОС могут быть улучшены использованием ресурсов негосударственных и добровольческих организаций.

Преимущество такого рода интеграции было продемонстрировано при масштабных лесных пожарах в России летом 2010 г. Добровольцы участвовали в борьбе с огнем и в оказании помощи пострадавшим от стихийного бедствия. В некоторых случаях помощь со стороны добровольцев была более быстрой и эффективной по сравнению с государственными службами. Координация действий по ликвидации ЧС некоторых добровольцев велась через сообщества LiveJournal. Основным сообществом было pozar_ru. Существовал также сайт russian-fires.ru, работавший на платформе Ushahidi, которая была использована также при землетрясениях на Гаити и Чили для согласования действий добровольцев.

Эти и другие свидетельства успешного взаимодействия добровольцев и государственных служб показывают важность отлаженного взаимодействия между информационными системами госслужб и частными лицами.

Интеграция онтологии СИОС в "систему систем"

Интеграция технологически и семантически разнородных источников в "систему систем" может быть реализована на основе онтологии [17–21]. Моделирование ЧС с помощью онтологии способствует установлению общей терминологии и облегчает повторное использование знаний (reuse).

Онтологии специализированных информационных систем, как правило, содержат в себе детализированное формальное описание предметных областей. Для того чтобы связать между собой различные предметные онтологии, используются онтологии "верхнего уровня", или *метамодели*. Они содержат в себе обобщающие концепции, с помощью которых конкретные термины предметных онтологий могут быть сопоставлены друг с другом. Например, метамодель может содержать в себе термин "степень уязвимости", который в каждой предметной онтологии определяется и рассчитывается по-разному.

Мы использовали уже разработанные модели осознания ситуации (situational awareness) [22] и управления ЧС [23] как две отправные точки для со-

здания и унификации метамодели СИОС для использования в “системе систем”.

Разработка нашей метамодели была проведена с позиций управления стойкостью к различным угрозам. Полагалось, что метамодель применима для решения двух ключевых задач, обозначенных в [3].

Расширение ядра онтологии [13], выбранной в виде отправной точки, происходило следующим образом:

- 1) разбиение онтологии на модули;
- 2) выбор модулей, которые необходимо расширить;
- 3) определение требований, которым модуль должен удовлетворять после расширения. При этом был учтен опыт проектов [19, 23, 24];
- 4) определение новых знаний (совместно с экспертами предметной области), которые будут представлены в модуле;
- 5) анализ осуществимости изменений модуля (например, все ли величины модуля могут быть измеримы);
- 6) реализация новых модулей или переработка существующих. Для получения финальной онтологии полученные от экспертов UML-диаграммы, концептуальные карты преобразуются в формат OWL.

Метамодель общей оперативной обстановки и управление стойкостью зданий

Предложенная метамодель, которая может устранить недостатки и ограничения существующего *де-факто* реагирующего подхода, имеет следующие свойства.

Мониторинг риска и интероперабельность как инструменты для предупреждения ЧС

Введение мониторинга риска и интероперабельности (рис. 8) как новой обязательной задачи при управлении ЧС обеспечит возможность проведения оперативных превентивных процедур и минимизации пагубных последствий при защите зданий.

С левой стороны рис. 8 находится ядро онтологии управления стойкостью. Левая часть, описывающая СУКС, по большей части взята из информационной модели OASIS. Базовый класс СУКС в данной метамодели представляет два типа объектов:

1) муниципальные специализированные службы (пожарные, полиция, медики и т. д.), в задачу которых входит реагирование на ЧС или забота о пострадавших и которые имеют собственные регулярные информационные системы. Эти системы предполагается интегрировать в междепартаментную информационную систему для эффективного обмена информацией;

2) “спонтанное” информационное пространство негосударственных и добровольческих организаций.

Основные понятия онтологии объекта защиты (например, сверхвысокие здания или высоконагруженные транспортные узлы), которые могут быть подвергнуты действию вредоносных факторов, показаны с правой стороны рис. 8.

Оперативные данные и прочая информация, которая используется совместно участниками ликвидации ЧС и внутри объекта защиты, могут быть предоставлены подсистемой “мониторинг риска”.

Связи между основными понятиями, относящимися к мониторингу риска и интероперабельности, показаны на рис. 9.

Жизненно важные параметры объекта защиты в контексте управления стойкостью — актуальные уязвимости и доступные адаптивные возможности. Они могут быть:

1) извлечены и доступны с помощью “мониторинга эксплуатационных характеристик” и “мониторинга повреждений”;

2) связаны на тактическом и стратегическом уровнях с ликвидаторами ЧС посредством “мониторинга риска” в реальном или близком к реальному времени.

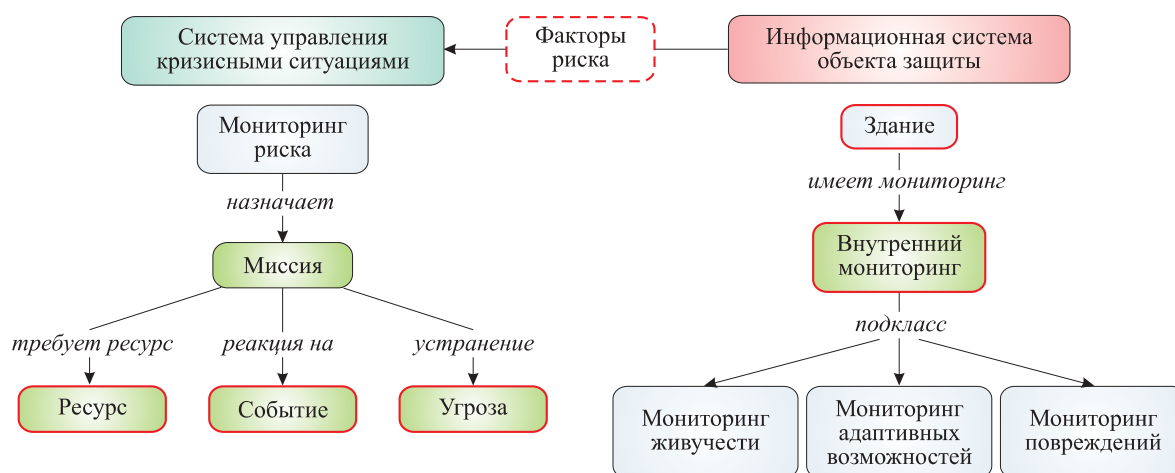


Рис. 8. Метамодель СИОС для управления стойкостью зданий в рамках “системы систем”

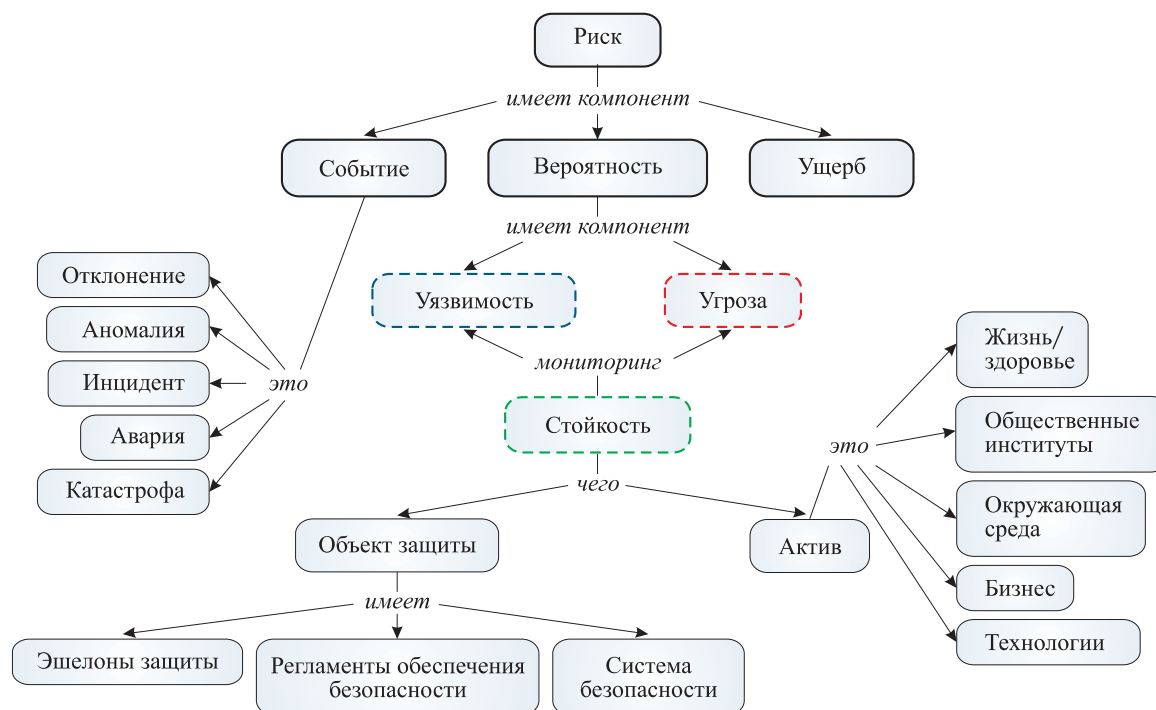


Рис. 9. Метамоделю риска для управления стойкостью зданий в рамках “системы систем”

Основная задача “мониторинга эксплуатационных характеристик” — сбор, управление и предоставление данных о функциональном состоянии системы, возможностях подсистем безопасности, энерго-снабжении, вентиляции и т. д.

Основная задача “мониторинга повреждений” — обработка (получение, нормализация, очистка, извлечение факторов) данных о текущей структуре и геометрических характеристиках здания и его положении в пространстве.

В современных крупных постройках (стадионы, торговые и офисные центры) мониторинг объекта защиты в режиме реального времени и структурного состояния производится с помощью набора сенсоров и системы, обрабатывающей их показания (рис. 10) и нацелен на управление разнородными подсистемами объекта защиты.

Формирование, уточнение и поддержка подмодели, описывающей контроль за состоянием системы с помощью распределенной сети сенсоров, основаны на:

- анализе интервью с экспертами в гражданском строительстве, инженерном проектировании, информационных технологиях, безопасности, конструкционной информатике;
- формализации знаний из текстовых источников и баз данных BIM (Building Information Model, см. сайт <http://itc.scix.net>) строительной информатики [25];
- информации из текущих и разрабатываемых технических стандартов [26, 27], посвященных управлению ЧС и обеспечению безопасности.

Извлечение и своевременное использование релевантной информации из внешних и внутренних (по отношению к объекту защиты) источников и их интеграция с помощью мониторинга риска, безусловно, будут способствовать созданию по-настоящему общей картины ситуации между двумя основными участниками ликвидации ЧС — государственными службами и владельцами объекта защиты. Метамоделю, учитывающая третью сторону — население, подвергнутое риску, или персонал объекта защиты находятся за рамками данной статьи.

Технологическая и семантическая интеграция между информационными системами ОЗ и СУКС имеет следующие преимущества в контексте управления стойкостью зданий:

- минимизация проблемы разных временных масштабов эскалации кризиса внутри ОЗ и времени реакции кризисных служб;
- переход от реагирующего подхода (акцент на реакцию и восстановление) к превентивному (акцент на предотвращение, подготовку и смягчение).

Количественные метрики для оценки уязвимости и доступных адаптивных возможностей

В нашей онтологии, в описании эволюции кризисной ситуации на уровне объекта защиты (см. правую часть рис. 8 и верхнюю сторону рис. 7), отмечена фаза “предкризис”. Описание всех фаз развития кризиса см. в [28]. Предкризисная фаза соответствует отрезку времени между моментом появления первых прекурсов возможного кризиса и моментом причинения первых серьезных повреждений объекту защиты.

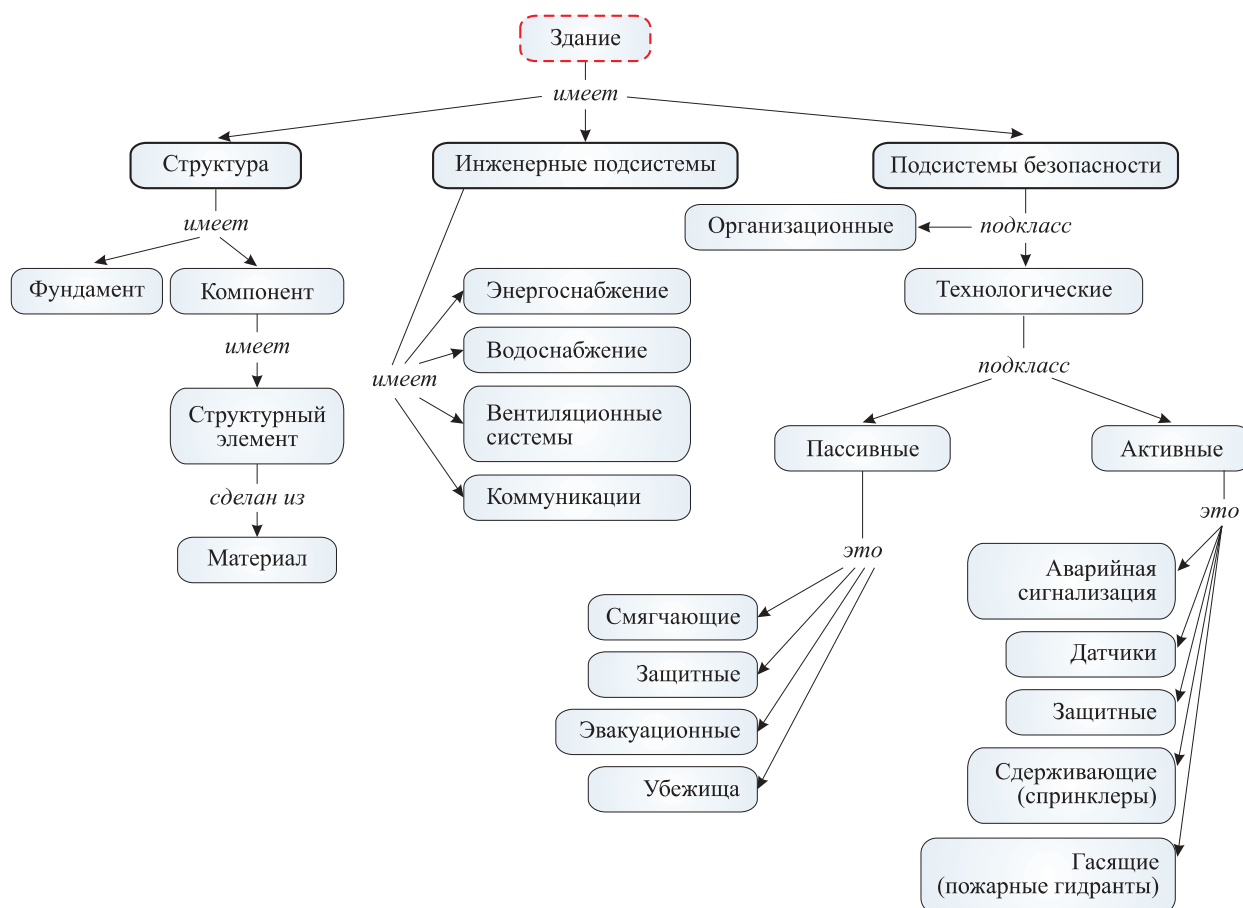


Рис. 10. Метамодель для оценки эксплуатационных характеристик и уровня защиты здания/сооружения в реальном времени с помощью сенсоров

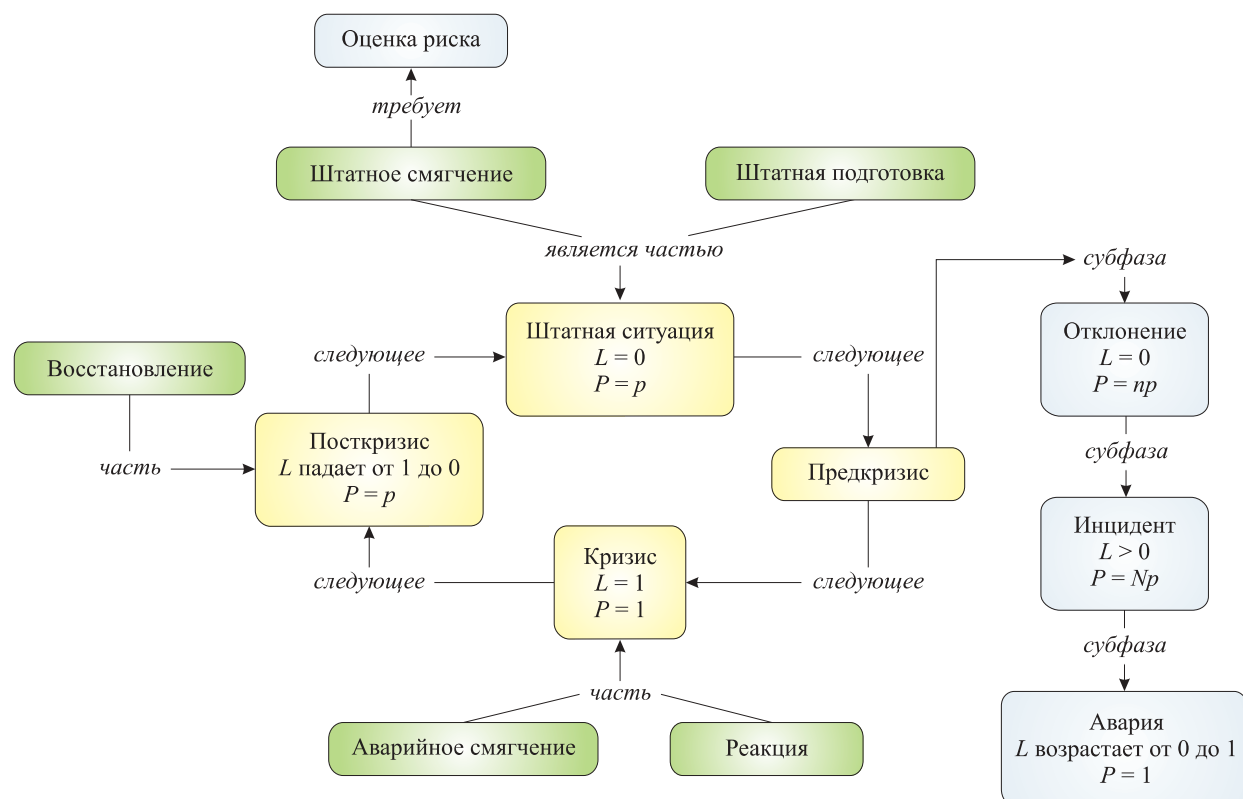


Рис. 11. Метамодель оценки уязвимости и доступных адаптивных возможностей на предкризисной фазе ОЗ

Как раз на предкризисной фазе (рис. 11) своевременное обнаружение и оценка уязвимостей и доступных адаптивных возможностей критически важны для предотвращения эскалации кризиса.

Количественной метрикой для доступных адаптивных возможностей является индекс живучести, предложенный в [29]. Упомянутая метрика была выбрана в процессе сравнительного анализа различных детерминистских процедур оценки живучести [30], основанных на риске [29] и надежности [31–34]. Выбранные метрики ценны по двум причинам. Во-первых, они позволяют учитывать эксплуатационные характеристики здания/сооружения. Во-вторых, они могут быть применены к другим элементам зданий/сооружений, например ограждающим элементам, формируя таким образом унифицированный подход для описания различных типов доступных адаптивных возможностей ОЗ (см. рис. 10).

Подробное описание количественных метрик уязвимостей здания находится за рамками данной статьи. Отметим только, что мониторинг эксплуатационных характеристик и актуальных уязвимостей объекта защиты на стороне ОЗ может быть надежным и важным источником информации для мониторинга риска на стороне СУКС. Более детальное описание взаимосвязей между задачами на стороне объекта защиты (отмечены желтым цветом) и задачами СУКС (обозначены зеленым цветом) показано на рис. 11.

Внедрение количественных метрик (непосредственно измеряемых или вычисляемых) актуальных уязвимостей и доступных адаптивных ресурсов может сделать возможным переход от реагирующего подхода к риск-информированному превентивному подходу обеспечения безопасности зданий.

Заключение

В данной работе предложена метамодель совместного осознания ситуации для управления стойкостью зданий.

Предложенный подход может быть использован для разработки инструментария для национальной “системы систем” управления кризисными ситуациями в зданиях. Предложенная масштабируемая схема с двумя циклами разного временного масштаба позволяет решить проблему “запоздалой реакции” текущих СУКС и предотвратить эскалацию кризиса в катастрофу с большими потерями.

Tactical Situation Object из европейского проекта OASIS был использован как основа для разработанной онтологии.

Были описаны и проанализированы концептуальные проблемы, связанные с отсутствием совместно используемого осознания ситуации в действующих СУКС и исследовательских проектах.

Было предложено два новых инструмента:

- мониторинг риска и построение совместной картины ситуации как инструмент для предотвращения и подготовки к кризисной ситуации;
- количественные метрики для оценки актуальных уязвимостей и доступных адаптивных возможностей здания.

Предложенная метамодель была разработана в детерминистской парадигме.

Остались открытыми вопросы: как учитывать неопределенность в данных, которые поступают в “систему систем” от внешних источников? как эффективно включить людей под воздействием риска в совместную картину ситуации и процессы управления кризисной ситуацией?

Благодарность

Авторы благодарны РФФИ за финансирование исследований, направленных на риск-информированные технологии (11-07-00329-а) и системы визуализации (11-07-13166-офи-м-2011_РЖД) в контексте управления кризисом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 09-07-00401-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Emerging Risks in the 21st Century: An Agenda for Action. URL : <http://www.oecd.org/futures/globalprospects/37944611.pdf> (дата обращения: 01.03.2013 г.).
2. World Urbanization Prospects: the 1999 revision. URL : <http://www.un.org/esa/population/pubsarchive/urbanization/urbanization.pdf> (дата обращения: 01.03.2013 г.).
3. Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic Action in an Age of Uncertainty. URL : <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=4995> (дата обращения: 01.03.2013 г.).
4. Project Europe 2030: Challenges and Opportunities. URL : http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/librairie/PDF/QC3210249ENC.pdf (дата обращения: 01.03.2013 г.).
5. The Reactor Safety Study WASH-1400. URL : <http://teams.epri.com/PRA/Big%20List%20of%20PRA%20Documents/WASH-1400/02-Main%20Report.pdf> (дата обращения: 01.03.2013 г.).
6. A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process. URL : http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1499_web.pdf (дата обращения: 01.03.2013 г.).

7. Musa S., Berry W., Chait R., Lyons J., Russo V. Risk-Informed Decision making for Science and Technology. URL : <http://www.ndu.edu/CTNSP/docUploaded/DTP%2076%20Risk-Informed-%20Decisionmaking%20for%20ST.pdf> (дата обращения: 01.03.2013 г.).
8. Comprehensive Risk Assessments and Stronger Internal Controls Needed to Help Inform TSA Resource Allocation. URL : <http://www.gao.gov/new.items/d09492.pdf> (дата обращения: 01.03.2013 г.).
9. Pasman H., Kirillov I. Hazard and Risk Analysis of Aircraft Collision with High-Rise Building // RFBR and NATO Research Project, 2002–2004.
10. Pasman H., Kirillov I. (eds.) Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work // Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats. — Moscow, 2007. — 545 p.
11. Kirillov I. A., Klimenko S. V. Plato's Atlantis Revisited: Risk-Informed, Multi-Hazard Resilience of Built Environment via Cyber Worlds Sharing // International Conference on Cyberworlds (CW). — Singapore, 2010. — Vol. 10.1109/CW.2010.38. — P. 445–450.
12. Albthouse P., Dobresku R., Ionescu F. A Hierarchical Model for Emergency Management Systems // U.P.B. Sci. Bull. — 2011. — Vol. 73, No. 2. — P. 53–62. ISSN 1454-234x.
13. Henriques F., Rego D. OASIS Tactical Situation Object: a route to interoperability // SIGDOC'08 Proceeding of the 26th annual ACM international conference on design of communication. — New York, 2008. doi: 10.1145/1456536.1456593.
14. Mattioli J., Museux N., Hemaissia M., Laudy C. A Crisis Response Situation Model // 10th International Conference on Information Fusion, 2007. doi: 10.1109/ICIF.2007.4408022.
15. Fan Z., Zlatanova S. Exploring ontologies for semantic interoperability of data in emergency response // Applied Geomatics. — 2011. — Vol. 3, No. 2. — P. 109–122.
16. The Johns Hopkins and Red Cross Red Crescent Public Health Guide in Emergencies. URL : http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACU086.pdf (дата обращения: 01.03.2013 г.).
17. Zhang D., Zhou L., Nunamaker J. F. Jr. A Knowledge Management Framework for the Support of Decision Making in Humanitarian Assistance/Disaster Relief // Knowledge and Information Systems. — 2001. — Vol. 4, No. 3. — P. 370–385. doi: 10.1007/s101150200012.
18. Little E. G., Rogova G. L. Ontology meta-model for building a situational picture of catastrophic events // 8th International Conference on Information Fusion, 2005. doi: 10.1109/ICIF.2005.1591935.
19. Kruchten P., Woo C., Monu K., Sotoodeh M. A human-centered conceptual model of disasters affecting critical infrastructures // Intelligent Human Computer Systems for Crisis Response and Management, 2007.
20. Markus M. L., Fedorowicz J., Bodeau D., Brooks J. Characterizing and Improving Collaboration and Information-Sharing Across Emergency Preparedness and Response Communities. URL : www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers/09/09_1830/09_1830.pdf (дата обращения: 01.03.2013 г.).
21. Kebair F., Serin F. Agent-based Decision Support System to Prevent and Manage Risk Situations // 16eme Congres de Maitrise des Risques et de Surete de Fonctionnement, 2008.
22. Endsley M. R., Garland D. J. (eds.) Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. Situation awareness analysis and measurement. — Mahwah, NJ: LEA. 2000.
23. Othman S. H., Beydoun G. A Disaster Management Metamodel (DMM) Validated // Knowledge Management and Acquisition for Smart Systems and Services. Lecture Notes in Computer Science. — 2011. — Vol. 6232/2010. — P. 111–125. doi: 10.1007/978-3-642-15037-1_11.
24. Benaben F., Hanachi F., Lauras M., Couget P. A. Metamodel and its Ontology to Guide Crisis Characterization and its Collaborative Management // Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference. — Washington DC, 2008. — P. 189–196.
25. Smith D. An Introduction to Building Information Modeling (BIM) // Journal of Building Information Modeling. — 2007. — Vol. 12, No. 4.
26. ГОСТ Р 22.1.12–2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. — Введ. 15.09.2005 г. — М. : Стандартинформ, 2005. — 15 с.
27. ISO/IEC 31010:2009. Risk management — Risk assessment techniques, 2009.
28. Lauge A., Sarriegi J. M., Torres J. The Dynamics of Crisis Lifecycle for Emergency Management // 27th International Conference of the System Dynamics Society, New Mexico, 2009. ISBN 978-1-935056-03-04.
29. Baker J. W., Schubert M., Faber M. H. On the assessment of robustness // Journal of Structural Safety. — 2008. — Vol. 30. — P. 253–267.
30. ISO 19902:2007. Petroleum and Matural Gas Industrues — Fixed Steel Offshore Structures, 2007.
31. Frangopol D. M., Curley J. P. Effects of damage and redundancy on structural reliability // ASCE Journal of Structural Engineering. — 1987. — Vol. 113, No. 7. — P. 1533–1549.

32. Fu G., Frangopol D. M. Balancing weight, system reliability and redundancy in a multiobjective optimization framework // *Structural Safety*. — 1990. — Vol. 204, No. 7. — P. 165–175.
33. Lind N. C. Vulnerability of damage-accumulating systems // *Reliability Engineering & System Safety*. — 1996. — Vol. 53, No. 2. — P. 217–219.
34. Ben-Yaim Y. Design certification with information-gap uncertainty // *Structural Safety*. — 1999. — Vol. 21, No. 3. — P. 269–289.

Материал поступил в редакцию 13 марта 2013 г.

English

METAMODEL OF SHARED SITUATION AWARENESS FOR RESILIENCE MANAGEMENT OF BUILT ENVIRONMENT WITH HIGH RESPONSIBILITY

MESHCHERIN S. A., Moscow Institute of Physics and Technology (Institutskiy Pereulok, 9, Dolgoprudnyy, Moscow Region, 141700, Russian Federation; e-mail address: sergey.metcherin@gmail.com)

KIRILLOV I. A., National Research Centre "Kurchatov Institute" (Akademika Kurchatova Sq., 1, Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail address: kirillov.igor@gmail.com)

KLIMENKO S. V., Institute of Computing for Physics and Technology (Zavodskoy Proyezd, 6, Moscow Region, Protvino, 614284, Russian Federation; e-mail address: stanislav.klimenko@gmail.com)

ABSTRACT

The main purpose of this work is to create high-level conceptual model (metamodel) of crisis situation in built environment. Work starts with short review of existing paradigms of crisis management.

Then, study introduces new crisis management paradigm — resilience management, which is a logical evolution of current risk-informed paradigm. Main component of resilience management is risk-informed Shared Situational Awareness (SSA). SSA is used by all participants of crisis management process, i. e. rescue teams, police, firefighting brigades, medical services. Resilience management also stands on risk-informed monitoring of Available Adaptive Capacities (AAC) and Existing Vulnerabilities (EV). Study formulates concepts of two cycles — Disaster Management Cycle and System-at-Risk cycle. Importance of exchange of risk information between two cycles is emphasized.

Study includes detailed metamodels of performance characteristics, existing vulnerabilities and adaptive capacities. Also study includes description of quantifiable metrics for measuring existing vulnerabilities and adaptive capacities.

To summarize, study has following main results: introduction of resilience management paradigm, which is based on shared situational awareness and introduction of quantifiable metrics for measuring vulnerabilities and adaptive capacities.

Keywords: crisis; metamodel; ontology; built environment; resilience; risk-informed approach.

REFERENCES

1. *Emerging Risks in the 21st Century: An Agenda for Action*. Available at: <http://www.oecd.org/futures/globalprospects/37944611.pdf> (Accessed 1 March 2013).
2. *World Urbanization Prospects: the 1999 revision*. Available at: <http://www.un.org/esa/population/pubsarchive/urbanization/urbanization.pdf> (Accessed 1 March 2013).
3. *Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic Action in an Age of Uncertainty*. Available at: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=4995> (Accessed 1 March 2013).
4. *Project Europe 2030: Challenges and Opportunities*. Available at: http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/librairie/PDF/QC3210249ENC.pdf (Accessed 1 March 2013).
5. *The Reactor Safety Study WASH-1400*. Available at: <http://teams.epri.com/PRA/Big%20List%20of%20PRA%20Documents/WASH-1400/02-Main%20Report.pdf> (Accessed 1 March 2013).
6. *A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process*. Available at: http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1499_web.pdf (Accessed 1 March 2013).
7. Musa S., Berry W., Chait R., Lyons J., Russo V. *Risk-Informed Decision making for Science and Technology*. Available at: <http://www.ndu.edu/CTNSP/docUploaded/DTP%2076%20Risk-Informed-%20Decisionmaking%20for%20ST.pdf> (Accessed 1 March 2013).
8. *Comprehensive Risk Assessments and Stronger Internal Controls Needed to Help Inform TSA Resource Allocation*. Available at: <http://www.gao.gov/new.items/d09492.pdf> (Accessed 1 March 2013).

9. Pasman H., Kirillov I. Hazard and Risk Analysis of Aircraft Collision with High-Rise Building. *RFBR and NATO Research Project*, 2002–2004.
10. Pasman H., Kirillov I. (eds.) Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work. *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats*. Moscow, 2007. 545 p.
11. Kirillov I. A., Klimenko S. V. Plato's Atlantis Revisited: Risk-Informed, Multi-Hazard Resilience of Built Environment via Cyber Worlds Sharing. *International Conference on Cyberworlds (CW)*. Singapore, 2010, vol. 10.1109/CW.2010.38, pp. 445–450.
12. Alboutoush P., Dobresku R., Ionescu F. A Hierarchical Model for Emergency Management Systems. *U.P.B. Sci. Bull.*, 2011, vol. 73, no. 2, pp. 53–62. ISSN 1454-234x.
13. Henriques F., Rego D. OASIS Tactical Situation Object: a route to interoperability. *SIGDOC'08 Proceeding of the 26th annual ACM international conference on design of communication*. New York, 2008. doi: 10.1145/1456536.1456593.
14. Mattioli J., Museux N., Hemaissia M., Laudy C. A Crisis Response Situation Model. *10th International Conference on Information Fusion*, 2007. doi: 10.1109/ICIF.2007.4408022.
15. Fan Z., Zlatanova S. Exploring ontologies for semantic interoperability of data in emergency response. *Applied Geomatics*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 109–122.
16. *The Johns Hopkins and Red Cross Red Crescent Public Health Guide in Emergencies*. Available at: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACU086.pdf (Accessed 1 March 2013).
17. Zhang D., Zhou L., Nunamaker J. F. Jr. A Knowledge Management Framework for the Support of Decision Making in Humanitarian Assistance/Disaster Relief. *Knowledge and Information Systems*, 2001, vol. 4, no. 3, pp. 370–385. doi: 10.1007/s101150200012.
18. Little E. G., Rogova G. L. Ontology meta-model for building a situational picture of catastrophic events. *8th International Conference on Information Fusion*, 2005. doi: 10.1109/ICIF.2005.1591935.
19. Kruchten P., Woo C., Monu K., Sotoodeh M. A human-centered conceptual model of disasters affecting critical infrastructures. *Intelligent Human Computer Systems for Crisis Response and Management*, 2007.
20. Markus M. L., Fedorowicz J., Bodeau D., Brooks J. *Characterizing and Improving Collaboration and Information-Sharing Across Emergency Preparedness and Response Communities*. Available at: www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_09/09_1830/09_1830.pdf (Accessed 1 March 2013).
21. Kebair F., Serin F. Agent-based Decision Support System to Prevent and Manage Risk Situations. *16eme Congres de Maitrise des Risques et de Surete de Fonctionnement*, 2008.
22. Endsley M. R., Garland D. J. (eds.) Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. *Situation awareness analysis and measurement*. Mahwah, NJ: LEA. 2000.
23. Othman S. H., Beydoun G. A Disaster Management Metamodel (DMM) Validated. Knowledge Management and Acquisition for Smart Systems and Services. *Lecture Notes in Computer Science*, 2011, vol. 6232/2010, pp. 111–125. doi: 10.1007/978-3-642-15037-1_11.
24. Benaben F., Hanachi F., Laurus M., Couget P. A. Metamodel and its Ontology to Guide Crisis Characterization and its Collaborative Management. *Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference*, Washington DC, 2008, pp. 189–196.
25. Smith D. An Introduction to Building Information Modeling (BIM). *Journal of Building Information Modeling*, 2007, vol. 12, no. 4.
26. *National standard of the Russian Federation 22.1.12–2005. Safety in emergencies. Structured system for monitoring and control of building / construction engineering equipment. General requirements*. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 15 p.
27. *ISO/IEC 31010:2009. Risk management — Risk assessment techniques*, 2009.
28. Lauge A., Sarriegi J. M., Torres J. The Dynamics of Crisis Lifecycle for Emergency Management. *27th International Conference of the System Dynamics Society*, New Mexico, 2009. ISBN 978-1-935056-03-04.
29. Baker J. W., Schubert M., Faber M. H. On the assessment of robustness. *Journal of Structural Safety*, 2008, vol. 30, pp. 253–267.
30. *ISO 19902:2007. Petroleum and Natural Gas Industries — Fixed Steel Offshore Structures*, 2007.
31. Frangopol D. M., Curley J. P. Effects of damage and redundancy on structural reliability. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 1987, vol. 113, no. 7, pp. 1533–1549.
32. Fu G., Frangopol D. M. Balancing weight, system reliability and redundancy in a multiobjective optimization framework. *Structural Safety*, 1990, vol. 204, no. 7, pp. 165–175.
33. Lind N. C. Vulnerability of damage-accumulating systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 1996, vol. 53, no. 2, pp. 217–219.
34. Ben-Yaim Y. Design certification with information-gap uncertainty. *Structural Safety*, 1999, vol. 21, no. 3, pp. 269–289.

Ф. Ш. ХАФИЗОВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Пожарная и промышленная безопасность”, ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

И. К. БАКИРОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель 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)

И. Р. СУЛЕЙМАНОВ, заведующий сектором противопожарных мероприятий, ГАУ “Управление государственной экспертизы Республики Башкортостан” (Россия, Республика Башкортостан, 450077, г. Уфа, ул. Мустая Карима, 45)

УДК 614.841.41:699.86

ВЛИЯНИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ, НАНЕСЕННОЙ С ВНУТРЕННЕЙ СТОРОНЫ СТЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА, НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СТЕНКИ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ

Рассмотрены проблемные вопросы применения горючих материалов для теплоизоляции резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Приведены результаты опытов по исследованию горения теплоизолированной модели резервуара с нефтью. Выполнен анализ использования пенополиуретана в качестве эффективной теплоизоляции для вертикальных стальных резервуаров нефтепродуктов. Предложен метод применения теплоизоляции с внутренней стенки резервуаров нефтепродуктов.

Ключевые слова: резервуар; тепловая изоляция; пожарная безопасность; пирофорные отложения.

Тепловая изоляция по своему назначению выполняет важные функции сохранения заданных температур технологического процесса, необходимых для стабильной и безопасной работы производственных установок, от которых зависит работоспособность, экологичность и экономичность эксплуатации многочисленных промышленных и энергетических комплексов. На вертикальных стальных резервуарах (РВС) тепловая изоляция применяется для поддержания температуры нефтепродуктов в технологическом процессе, а также для предотвращения застывания тяжелых нефтепродуктов при их длительном хранении.

Действующими нормативными документами [1] применение таких теплоизоляционных материалов, как пенополиуретан, ограничено, что связано с их высокой пожарной опасностью. Для теплоизоляции РВС с нефтепродуктами допускается применение только негорючих материалов.

Основным нормативным документом, определяющим классификацию строительных материалов, в том числе по горючести, и условия их применения, является Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [2]. Определение груп-

пы материалов по горючести производится по методике, изложенной в [3]. Суть метода заключается в выдерживании цилиндрического образца материала в печи при температуре $(835 \pm 10)^\circ\text{C}$. При этом фиксируется потеря массы образца, наличие или отсутствие теплового эффекта и пламенного горения. Условия эксплуатации материала не учитываются. Нередки случаи, когда из-за негерметичности соединений наружная негорючая теплоизоляция пропитывается нефтью или нефтепродуктом, и создаются условия, способствующие самовозгоранию и (или) распространению пламени по поверхности теплоизоляции. Таким образом, представляется необоснованным ограничение применения горючей теплоизоляции, в то время как негорючая изоляция используется без принятия мер по предотвращению эффекта ее “замазучивания”. Ни один из вышеуказанных нормативных документов не содержит требований по обеспечению таких мер. Предложено использовать теплоизоляцию из пенополиуретана, наносимого с внутренней стороны стенки резервуара.

Требования действующих норм [1], ограничивающих применение теплоизоляционных конструк-

ций только на основании их горючести и негорючести, не учитывают также условия их применения и эксплуатации. В то же время пожарная опасность теплоизоляционных материалов, как и всех строительных материалов, не обуславливается только показателем горючести. Тем не менее действующие своды правил, строительные нормы и правила, нормы пожарной безопасности и прочие аналогичные нормативные документы не содержат иных критериев или критических состояний, определяющих возможность применения теплоизоляционных материалов. При этом общий смысл требований Технического регламента [2] к применению строительных материалов на объектах без присутствия людей сводится к ограничению распространения пожара и снижению ущерба от него, что может быть обеспечено и при применении горючих теплоизоляционных материалов. В некоторых случаях при использовании горючих теплоизоляционных материалов возможно снижение пожарной опасности РВС даже в большей степени, чем в случае применения традиционной теплоизоляции негорючими материалами.

Для расширения спектра применяемых на РВС теплоизоляционных материалов и области их применения в работе [4] предложено использовать теплоизоляцию из пенополиуретана с внутренней стороны стенки резервуара. При этом проведен ряд опытов с целью исследования влияния теплоизоляции на температуру стенки резервуара при пожаре.

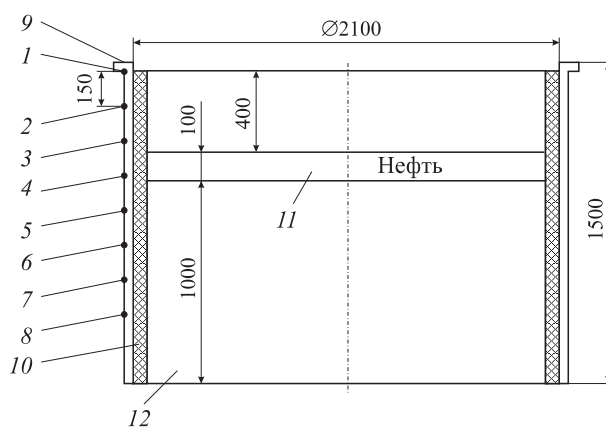
Испытания проводились на модели резервуара РВС-5000 в масштабе 1:10. Стенка модели с внутренней стороны была покрыта теплоизоляционным пенополиуретаном толщиной 30 мм.

Диаметр модели резервуара 2,10 м, высота 1,50 м, площадь зеркала нефти 3,46 м². Горючее вещество — нефть. Замер температуры стенки модели в опытах производился в восьми точках, расположенных на одинаковом расстоянии по высоте.

Было проведено четыре опыта. В опытах № 1 и 2 исследовалось горение модели теплоизолированного резервуара с верхним и нижним уровнями разлива нефти соответственно, а в опытах № 3 и 4 — резервуара без теплоизоляции с нижним и верхним уровнями разлива нефти соответственно. Общая схема теплоизолированного резервуара с верхним разливом приведена на рисунке.

В опыте № 1 на водяную подушку была залита нефть в количестве 0,35 м³. Начало опыта совпадало с моментом поджога нефти.

В процессе опыта проводился автоматический замер температур по высоте стенки модели резервуара. После 24 мин горения нефти в опыте № 1 прогрев стенки модели вышел на стационарный режим, и на 30-й минуте опыт был прекращен. Максималь-



Общий вид теплоизолированного резервуара с верхним разливом нефти: 1–8 — термопары; 9 — стенка резервуара; 10 — пенополиуретан; 11 — слой нефти; 12 — водяная подушка

ная температура в процессе опыта была достигнута на верхней кромке стенки модели и составила 610 °С.

Осмотр модели после опытов № 1 и 2 показал, что пенополиуретановая теплоизоляция выгорела до уровня разлива нефти.

Отдельные результаты для каждого опыта приведены в таблице, в частности максимальная температура $T_{\text{макс}}$, достигнутая на термопаре, и время t_{450} достижения температуры 450 °С на поверхности стенки резервуара.

На основе анализа результатов опыта можно выделить несколько положительных эффектов от применения предлагаемого способа теплоизоляции:

- уменьшается “малое дыхание” при эксплуатации РВС, что приводит к повышению экономической и экологической эффективности применения теплоизоляции;
- снижается пожарная опасность теплоизоляции РВС по сравнению с наружным методом теплоизоляции благодаря отсутствию горючих материалов на наружной стенке РВС и эффекта “замачивания” теплоизоляции и, как следствие, отсутствует распространение пламени по наружной поверхности стенки резервуара;

Сравнение температурных режимов в различных опытах

Номер термопары	Опыт № 1		Опыт № 2		Опыт № 3		Опыт № 4	
	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$t_{450}, \text{с}$	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$t_{450}, \text{с}$	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$t_{450}, \text{с}$	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$t_{450}, \text{с}$
1	610	457	696	181	587	172	601	195
2	540	721	682	191	580	178	518	234
3	308	—	640	221	538	208	366	—
4	55	—	654	358	574	186	38	—
5	39	—	618	376	547	275	125	—
6	31	—	631	468	522	244	28	—
7	22	—	614	590	559	243	24	—
8	22	—	441	—	610	209	21	—

- снижается вероятность возникновения пожара от самовоспламенения пирофорных отложений на стенке резервуара за счет ликвидации их образования в связи с отсутствием контакта между нефтью и металлической стенкой резервуара; снижается коррозионный износ резервуара; повышается технологическая скорость откачивания нефти;
- увеличивается предел огнестойкости стенки РВС при пожаре, а также критическое время для ввода сил и средств на охлаждение резервуара;
- сохраняется возможность охлаждения резервуаров во время пожара стационарными установками и передвижной пожарной техникой, что вообще невозможно в случае применения традиционного способа теплоизоляции стенок резервуаров негорючими материалами снаружи;
- уменьшается скорость прогрева нефти (нефтепродукта) в соседнем (теплоизолированном) с горящим резервуаре;
- длительное время сохраняются рабочие параметры высоковязких продуктов при отрицательных температурах окружающей среды без применения систем подогрева и перемешивания, что способствует снижению пожарной опасности технологического процесса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 174; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 80 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
3. ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. — Введ. 01.01.96 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996. — 19 с.
4. Сулейманов И. Р. Принципы противопожарного нормирования промышленной тепловой изоляции : дипломная работа. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002.

Материал поступил в редакцию 11 января 2013 г.

English

INFLUENCE THERMAL INSULATION OF POLYURETHANE FOAM, APPLIED WITH THE INSIDE WALL OF THE VERTICAL STEEL TANK, ON THE TEMPERATURES WALL IN BURNING

KHAFIZOV F. Sh., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

BAKIROV I. K., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer 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)

SULEYMANOV I. R., Head of the Fire Prevention Department, Management of State Examination of Republic Bashkortostan (Mustaya Karima St., 45, Ufa, 450077, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

ABSTRACT

The article determines that the heat insulation of the tanks maintains specified temperature of petroleum products.

The effective normative documents limit the use of the polyurethane foam, which is caused by their high fire hazard. The regulatory document defining the terms of use of materials is "Technical regulations for fire safety requirements". The essence of the method of defining the materials by their combustibility consists in holding of a cylindrical sample of the material in the furnace. The operating conditions of the material are not taken into account in this case. Quite often, through the leakage of connections the external non-combustible thermal insulation gets impregnated with oil or oil products, and this creates the conditions conducive to spontaneous ignition and (or) flame spreading on the insulation surface. Thus, the use limitation of the combustible heat insulation without taking measures to prevent the «oiling» effect of the non-combustible thermal insulation is inefficient.

In the article it is suggested the usage of the polyurethane foam on the inner surface of the tank wall for its thermal insulation. There were conducted a number of experiments with regard for the ope-

rating conditions of the tank. The results of the experiments made it possible to define the positive effects of the proposed method of the thermal insulation method, such as:

- 1) decrease of the inconsiderable reservoir breathing while the tank is in operation, which leads to the increase of economic and environmental efficiency of the thermal insulation;
- 2) reduction of the fire hazard of the insulation in comparison with the external method of heat insulation, which is caused by the lack of the combustible materials on the outer wall of the PBC and, as a result, by the lack of the “oiling” effect of the heat insulation;
- 3) reduction of the corrosive wear of the tank;
- 4) increase of the technological oil pumping speed;
- 5) increase of the fire resistance limit of the tank wall by the fire;
- 6) maintenance of the cooling possibility of the tanks during the fire by stationary plants and mobile fire equipment which is generally not possible on application of traditional methods of the heat insulation of the tank walls with the help of non-combustible materials from the outside.

Keywords: tank; heat insulation; fire safety; pyrophoric deposits.

REFERENCES

1. *Set of Rules 4.13130.2009. Systems of fire protection. Restriction of fire spread at object of defence. Requirements to spacial layout and structural decisions.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 80 p. (in Russian).
2. *Technical Regulations on Fire Safety: Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123.* Collection of Laws of the Russian Federation, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
3. *State Standard 30244–94. Building materials. Methods for combustibility test.* Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 1996. 19 p. (in Russian).
4. Suleymanov I. R. *Printsipy protivopozharnogo normirovaniya promyshlennoy teplovoiy izolyatsii: diplomnaya rabota* [The principles of fire regulation industrial thermal insulation. Diplom thesis]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский
КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



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

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям “Пожарная безопасность”, “Безопасность технологических процессов и производств”, “Безопасность жизнедеятельности в техносфере”, студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности “Промышленное и гражданское строительство”, сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

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

В. Л. МУРЗИНОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: vgasupb@mail.ru)

М. В. ПАРШИН, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: vgasupb@mail.ru)

А. П. ПАРШИНА, магистрант, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: vgasupb@mail.ru)

УДК 614.841.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЖАРА С УЧЕТОМ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В НЕГЕРМЕТИЧНОМ ПОМЕЩЕНИИ

Рассмотрена задача моделирования средней температуры в помещении при возникновении пожара. Определены параметры, оказывающие наибольшее влияние на динамику развития пожара. Получено соотношение, связывающее среднеобъемную температуру и основные параметры процесса горения. К основным параметрам отнесена производительность вытяжной аварийной вентиляции.

Ключевые слова: моделирование; пожар; среднеобъемная температура; аварийная вентиляция; газовая среда.

Определение расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях позволяет количественно охарактеризовать возможность реализации потенциальной пожарной опасности в пожар и оценить его возможные последствия. При анализе пожарного риска учитывается как возможное число погибших и травмированных при пожаре людей, количество уничтоженных материальных ценностей, ущерб, нанесенный окружающей среде, так и факторы, влияющие на развитие пожара и его последствия, в частности вероятность отказа автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения и др. Одним из основных параметров, влияющих на величину пожарного риска, является время наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП).

Понятие пожарной безопасности не является статическим, а напротив, постоянно уточняется и развивается по мере накопления знаний о природе пожара. Понимание под системой обеспечения пожарной безопасности комплекса организационных и технических решений предполагает обязательность взаимной увязки требований пожарной безопасности между собой, использование аналитических методов для их обоснования и системный подход при решении проблем обеспечения пожарной безопасности. Аналитические методы дают большой объем информации и позволяют принимать обоснованные решения по защите зданий от пожаров. Ядром аналитических методов при системном подходе к обеспечению пожарной безопасности является математическая модель пожара.

В данной работе исследуется изменение среднеобъемной температуры газовой среды в помещении при пожаре под влиянием воздушных потоков, создаваемых системой аварийной вентиляции. Такая модель может применяться при расчете времени наступления критического значения температуры, т. е. при расчете пожарного риска для производственных помещений. Правильная оценка влияния на развитие пожара работы аварийной вентиляции позволит управлять пожарным риском.

В результате анализа процесса возникновения и развития пожара выявлены параметры, влияющие на среднеобъемную температуру газовой среды в помещении, в котором происходит горение: среднеобъемная температура газовой среды в помещении T_m (К); коэффициент полноты сгорания η ; теплота сгорания вещества (материала) Q_n^p (Дж/кг); скорость выгорания вещества (материала) ψ (кг/(м²·с)); суммарный тепловой поток в ограждения Q_w (Дж/кг); площадь горения F_r (м²); давление внутри помещения p_m (Па); расходы соответственно воздуха и газа через проемы G_b и G_r (м³/с); среднеобъемная плотность газовой среды ρ_m (кг/м³); объем помещения $V_{\text{пом}}$ (м³); время τ (с) и др.

Влияние этих параметров на изменение среднеобъемной температуры газовой среды в помещении можно представить как функцию:

$$T_m = f(\eta, Q_n^p, \psi_{\text{уд}}, Q_w, F_r, p_m, G_b, G_r, \rho_m, V_{\text{пом}}, \tau), \quad (1)$$

где $\psi_{\text{уд}}$ — удельная скорость выгорания вещества (материала), кг/(м²·с).

Примем следующие допущения:

1) пламя распространяется по кругу и оценивается средним диаметром;

2) $p_m = \text{const}$;

3) расход газа осуществляется через приточные и вытяжные проемы с учетом их конфигурации. Работа аварийной вытяжной вентиляции производительностью $W_{\text{выт}}$ наиболее полно отражает количество уходящих газов и поступающего воздуха;

4) среднеобъемная плотность газовой среды ρ_m оказывает существенное влияние на газообмен в помещении объемом $V_{\text{пом}}$.

В итоге получаем набор параметров, влияющих на среднеобъемную температуру газовой среды:

$$T_m = f(\eta, Q_{\text{н}}^p, \psi_{\text{уд}}, \alpha, c_p, d_{\text{ср}}, W_{\text{выт}}, \rho_m, V_{\text{пом}}, \tau). \quad (2)$$

Для определения функциональной зависимости T_m применим аналитический метод размерностей и рассмотрим следующие параметры:

- среднеобъемную температуру газовой среды в помещении T_m (К);
- коэффициент полноты сгорания η (безразмерный);
- теплоту сгорания вещества (материала) $Q_{\text{н}}^p$ (Дж/кг);
- удельную скорость выгорания вещества (материала) $\psi_{\text{уд}}$ (кг/(м²·с));
- коэффициент теплопередачи внутренней поверхности помещения α (Вт/(м²·К));
- удельную массовую теплоемкость газовой среды при $p = \text{const}$ c_p (Дж/(кг·К));
- средний диаметр $d_{\text{ср}}$ (м);
- производительность вытяжной аварийной вентиляции $W_{\text{выт}}$ (м³/с);
- среднеобъемную плотность газовой среды в помещении ρ_m (кг/м³);
- объем помещения $V_{\text{пом}}$ (м³) ($V_{\text{пом}} = \text{const}$);
- время τ (с).

Уравнение (2) представим в виде степенной зависимости:

$$T_m = A \eta^a (Q_{\text{н}}^p)^b \psi_{\text{уд}}^c \alpha^d c_p^e d_{\text{ср}}^f W_{\text{выт}}^g \rho_m^x V_{\text{пом}}^y \tau^r. \quad (3)$$

Обозначим меру длины L ; меру времени — T ; меру массы — M ; меру температуры — K . Тогда

$$[T_m] = [L^0 T^0 M^0 K^1]; \quad (4)$$

$$[\eta] = [L^0 T^0 M^0 K^0]; \quad (5)$$

$$[Q_{\text{н}}^p] = [L^2 T^{-2} M^0 K^0]; \quad (6)$$

$$[\psi_{\text{уд}}] = [L^{-2} T^{-1} M^1 K^0]; \quad (7)$$

$$[\alpha] = [L^0 T^{-3} M^1 K^{-1}]; \quad (8)$$

$$[c_p] = [L^2 T^{-2} M^0 K^{-1}]; \quad (9)$$

$$[d_{\text{ср}}] = [L^1 T^0 M^0 K^0]; \quad (10)$$

$$[W_{\text{выт}}] = [L^3 T^{-1} M^0 K^0]; \quad (11)$$

$$[\rho_m] = [L^{-3} T^0 M^1 K^0]; \quad (12)$$

$$[V_{\text{пом}}] = [L^3 T^0 M^0 K^0]; \quad (13)$$

$$[\tau] = [L^0 T^1 M^0 K^0]; \quad (14)$$

$$L^0 T^0 M^0 K^1 = L^{0+2b+(-2c)+0+2e+f+3g+(-3x)+3y+0} \times \\ \times T^{0+(-2b)+(-c)+(-3d)+(-2e)+0+(-g)+0+0+r} \times \\ \times M^{0+c+d+0+0+0+x+0+0} \times \\ \times K^{0+0+0+(-d)+(-e)+0+0+0+0+0}. \quad (15)$$

Размерности, составляющие левую и правую части уравнения (3), равны. Тогда с учетом (4)–(15) запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} 0 = 2b - 2c + 2e + f + 3g - 3x + 3y \\ 0 = -2b - c - 3d - 2e - g + r \\ 0 = c + d + x \\ 1 = -d - e \end{cases}. \quad (16)$$

Решение этой системы будет:

$$\begin{cases} b = \frac{1}{2}x + 1 - \frac{1}{2}f - \frac{3}{2}g - \frac{3}{2}y \\ c = 1 - x + \exp(1) \\ d = -\exp(1) - 1 \\ r = -f - 2g - 3y \end{cases}. \quad (17)$$

Тогда уравнение (3) с учетом (17) можно преобразовать к виду:

$$K_1 = AK_2^{-\exp(1)} K_3^{-x} K_4^f K_5^g K_6^y, \quad (18)$$

где

$$\frac{T_m \alpha}{Q_{\text{н}}^p \psi_{\text{уд}}} = K_1; \quad (19)$$

$$\frac{1}{c_p \psi_{\text{уд}}} \alpha = K_2; \quad (20)$$

$$\frac{1}{\rho_m \sqrt{Q_{\text{н}}^p}} \psi_{\text{уд}} = K_3; \quad (21)$$

$$\frac{1}{\tau [Q_{\text{н}}^p]^{1/2}} d_{\text{ср}} = K_4; \quad (22)$$

$$\frac{1}{\tau^2 [Q_{\text{н}}^p]^{3/2}} W_{\text{выт}} = K_5; \quad (23)$$

$$\frac{1}{\tau^3 [Q_{\text{н}}^p]^{3/2}} V_{\text{пом}} = K_6. \quad (24)$$

Чтобы найти значения z , x , g , f и y , необходимо решить систему уравнений для частного случая:

$$\begin{cases} K_1^1 = z + K_2^1 - K_3^1 x + K_4^1 g + K_5^1 f + K_6^1 y \\ K_1^2 = z + K_2^2 - K_3^2 x + K_4^2 g + K_5^2 f + K_6^2 y \\ K_1^3 = z + K_2^3 - K_3^3 x + K_4^3 g + K_5^3 f + K_6^3 y \\ K_1^4 = z + K_2^4 - K_3^4 x + K_4^4 g + K_5^4 f + K_6^4 y \\ K_1^5 = z + K_2^5 - K_3^5 x + K_4^5 g + K_5^5 f + K_6^5 y \end{cases}. \quad (25)$$

Таблица 1. Значения параметров, влияющих на пожар в производственном помещении объемом 129,6 м³ с работающей вытяжной аварийной вентиляцией

T_m , К	τ , с	Q_n^p , 10 ⁶ Дж/кг	$\psi_{уд}$, кг/(м ² ·с)	α , Вт/(м ² ·К)	c_p , Дж/(кг·К)	$d_{ср}$, м	ρ_m , кг/м ³	$W_{выт}$
293,00	8	13,8	0,01450	1,7	1005	0,1	1,205	0,288
294,02	60	13,8	0,01450	4,353	1005	1,32	1,2	0,364
300,42	120	13,8	0,01450	8,424	1005	2,64	1,17	0,512
314,94	180	13,8	0,01450	12,06	1005	3,96	1,12	0,598
337,60	240	13,8	0,01450	15,213	1005	5,28	1,04	0,659

Для оценки констант, входящих в уравнение (3), используем следующие статистические данные.

1. Объем помещения $V_{пом} = 129,6$ м³.

2. Распространение пламени по пожарной нагрузке опишем как функцию от времени, т. е.

$$d_{ср}(t) = vt, \quad (26)$$

где v — линейная скорость распространения пламени по пожарной нагрузке, м/с.

3. Массовая скорость выгорания $\psi_{уд}$ зависит от природы горючего материала (ГМ). Это утверждение верно только для твердых и жидких ГМ. Для древесины $\psi_{уд} = 0,0150$ кг/(м²·с);

4. Низшая теплота сгорания древесины $Q_n^p = 13,8 \cdot 10^3$ Дж/кг.

5. Предположим, что коэффициент полноты сгорания равен максимальному значению, т. е. $\eta = 0,9$.

6. Рассчитаем коэффициент теплопередачи внутренней поверхности помещения в соответствии с [1].

Полученные значения сведены в табл. 1.

Предположим, что стена производственного здания выполнена из железобетонных конструкций. Тогда для начальной стадии развития пожара принимаем $\alpha = 1,7$ Вт/(м²·К). Таким образом определяем значение коэффициента теплопередачи при $T_0 = 293$ К.

Полученные данные сведены в табл. 1.

7. Теплоемкость газовой среды в помещении примем $c_p = \text{const}$ [1]. В таком случае $c_p = 1005$ Дж/(кг·К).

8. Начальное значение среднеобъемной плотности газовой среды в помещении $\rho_m = 1,205$ кг/м³.

Значение среднеобъемной плотности газовой среды в помещении найдем из соотношения

$$\rho_m = \rho_0 T_0 / T_m, \quad (27)$$

где ρ_m и T_m — соответственно среднеобъемные плотность и температура газовой среды в помещении;

Таблица 2. Экспериментальные данные динамики пожара

Номер точки i	Время, мин	Температура, К
1	0	293,00
2	1,0	294,02
3	2,0	300,42
4	3,0	314,94
5	4,0	337,60

ρ_0 и T_0 — начальные значения соответственно среднеобъемных плотности и температуры газовой среды в помещении.

Полученные данные сведены в табл. 1.

9. Среднеобъемная температура газовой среды изменяется во времени и находится в диапазоне $T_0 \leq T_m \leq T_{кр}$, т. е. $290 \text{ К} \leq T_m \leq 343 \text{ К}$ [2].

Воспользуемся результатами расчетного эксперимента, проведенного по методике, предложенной в [3]. Для наглядности рассмотрим пять экспериментальных точек, соответствующих пяти моментам времени (табл. 2).

Сведем все полученные параметры в табл. 1.

Чтобы получить коэффициенты для критериального уравнения, необходимо определить значения безразмерных критериев для частного случая и решить систему уравнений (25). В табл. 3 показаны значения безразмерных критериев, рассчитанные для пяти экспериментальных точек.

Решение системы уравнений (25) проводилось с использованием пакета математических программ MathCAD. Таким образом, получены значения констант: $A = 7,5 \cdot 10^{-4}$; $x = 0,78$; $g = 1,00$; $f = 2,29$; $y = -1,70$.

Соотношение (18) принимает следующий вид:

$$K_1 = A K_2^{-2,781} K_3^{-0,78} K_4^{2,29} K_5^1 K_6^{-1,7}. \quad (28)$$

Таблица 3. Значения критериев K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , K_6

i	K_1^i	K_2^i	K_3^i	K_4^i	K_5^i	K_6^i
1	$2,489 \cdot 10^{-3}$	0,117	$3,239 \cdot 10^{-6}$	$2,692 \cdot 10^{-6}$	$5,618 \cdot 10^{-14}$	$2,528 \cdot 10^{-12}$
2	$6,396 \cdot 10^{-3}$	0,299	$3,253 \cdot 10^{-6}$	$9,87 \cdot 10^{-7}$	$1,972 \cdot 10^{-15}$	$1,17 \cdot 10^{-14}$
3	0,013	0,578	$3,336 \cdot 10^{-6}$	$9,87 \cdot 10^{-7}$	0	$1,463 \cdot 10^{-15}$
4	0,019	0,828	$3,485 \cdot 10^{-6}$	$9,87 \cdot 10^{-7}$	0	0
5	0,026	1,044	$3,753 \cdot 10^{-6}$	$9,87 \cdot 10^{-7}$	0	0

Таблица 4. Результаты расчетов по двум методикам

Номер точки	Время, с	Среднеобъемная температура, К, определенная	
		по формуле (28)	статистическим путем
1	8	248,475	293
2	60	295,262	294,02
3	120	299,813	300,42
4	180	313,296	314,94
5	240	335,19	337,60

В результате найдена зависимость среднеобъемной температуры от параметров, влияющих на процесс горения, в том числе производительности вытяжной аварийной вентиляции.

Далее сравним данные, рассчитанные по предложенной методике для горения древесины, с данными, полученными экспериментальным путем (табл. 4) [3].

В качестве исходных приняты следующие данные:

- помещение объемом 129,6 м³;
- характеристики пожарной нагрузки:
теплота сгорания $Q_n^p = 13,8 \cdot 10^3$ Дж/кг;
удельная скорость выгорания $\psi_{уд} = 0,0150$ кг/(м²·с).

На рисунке представлена графическая зависимость изменения во времени среднеобъемной температуры газовой среды в помещении при наличии

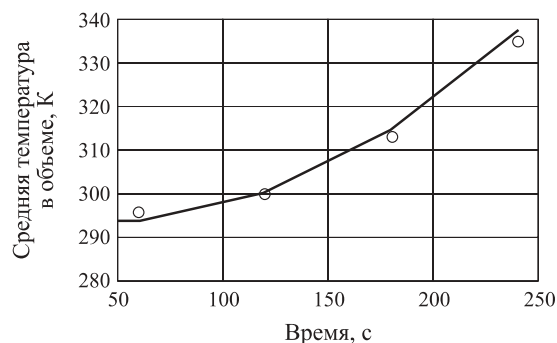


График динамики температурного режима пожара: ○ — температура, полученная при экспериментальном исследовании пожара; — — температура, рассчитанная по методу, предложенному в данной работе

пожара в условиях работы вытяжной аварийной вентиляции. Анализ графической зависимости на рисунке показал сходимость экспериментальных и теоретических данных.

Вывод

С помощью метода размерностей получена расчетная формула, позволяющая аналитически описать динамику изменения среднеобъемной температуры газовой среды в помещении при пожаре в условиях работы вытяжной аварийной вентиляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
2. Седов Л. Н. Методы подобия и размерностей в механике. — 9-е изд., перераб. — М. : Наука, 1981. — 447 с.
3. Горячева М. Н., Пузач С. В., Андреев В. В. Расчет коэффициента теплопотерь при определении критической продолжительности пожара в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 21–24.
4. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование : постановление Госстроя России от 26.06.2003 г. № 115; введ. 01.01.2004 г. — М. : ГУП ЦПП, 2004.
5. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование : постановление Госстроя СССР от 28.11.91 г. № 21; введ. 01.01.92 г. — М. : ГП ЦПП, 1994; ГУП ЦПП, 2003.

Материал поступил в редакцию 28 марта 2013 г.

English

MODELING OF TEMPERATURE IN FIRE REGIMES WITH A VIEW OF THE WORK OF EMERGENCY VENTILATION IN PERMEABLE ENVIRONMENT

MURZINOV V. L., Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail: vgasupb@mail.ru)

PARSHIN M. V., Postgraduate Student of Fire and Industrial Safety Department, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail: vgasupb@mail.ru)

PARSHINA A. P., Graduate Student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail: vgasupb@mail.ru)

ABSTRACT

Determination of the calculated values of the risk of fire in buildings and constructions allows quantitatively characterizing the possibility of realization of potential fire danger in the fire and assessing its possible consequences. In the analysis of the risk of fire is considered as the possible number of deaths and injured during a fire people, the destruction of the spiritual and material values, environmental damage, and the probability of failure of the automatic installations of fire alarms and fire fighting and many other factors affecting the development of the fire and its consequences. One of the major parameters that affect the value of fire risk is of the time of the critical values of the dangerous factors of a fire.

The problem of modeling the average temperature in the room in case of fire. Modeling of physical and chemical processes of the initial stage of fire requires the analysis of the parameters describing this process. The correct choice of the most significant parameters to build adequate model. Defined parameters, influencing the dynamics of the development of a fire. Methods of the theory of dimension of similarity and allowed to get the criterion equation. On the basis of this equation obtained the relation that binds temperature and the main parameters of the combustion process. Analysis of the impact of exhaust emergency ventilation has shown that its performance can be attributed to the general settings.

Conclusion. With the help of the method of the matrix obtained by the calculation formula, which allows to analytically describe the dynamics of change in the average temperature of the gas environment in the room in the event of fire in the conditions of work exhaust emergency ventilation.

Keywords: modeling; fire; volume average temperature; emergency ventilation; gas environment.

REFERENCES

1. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
2. Sedov L. N. *Metody podobiya i razmernostey v mekhanike. 9-e izd.* [Methods of similarity and dimensions in mechanics. 9th ed.]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 447 p.
3. Goryacheva M. N., Puzach S. V., Andreev V. V. Raschet koefitsienta teplopoter pri opredelenii kriticheskoy prodolzhitelnosti pozhara v pomeshchenii [Calculation of the coefficient of heat loss in determining the critical hours of the fire in the premises]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 21–24.
4. *Construction norms and rules 41-01–2003. Heating, ventilation and conditioning*. Moscow, GUP TsPP Publ., 2004 (in Russian).
5. *Construction norms and rules 2.04.05–91*. Heating, ventilation and conditioning*. Moscow, GP TsPP Publ., 1994; GUP TsPP, 2003.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРА — факторы пожара, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу. Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности, являются: пламя и искры; повышенная температура окружающей среды; токсичные продукты горения и термического разложения; дым; пониженная концентрация кислорода.

К вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующим на людей и материальные ценности, относятся: осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций; радиоактивные и токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушенных аппаратов и установок; электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов; опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара; огнетушащие вещества.

Д. В. ШИХАЛЕВ, адъюнкт, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: evacsystem@gmail.com)

Р. Ш. ХАБИБУЛИН, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: kh-r@yandex.ru)

УДК 614.842

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ В ЗДАНИЯХ ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

Рассмотрены существующие системы управления эвакуацией как в России, так и за рубежом. Разработана сравнительная таблица, в которой представлены функциональные возможности систем управления; проведено распределение функциональности систем в зависимости от страны-производителя. Предложена классификация систем управления эвакуацией. Определен ряд основных задач, которые должна решать система оповещения и управления эвакуацией; приведены предъявляемые к ней требования.

Ключевые слова: эвакуация; управление эвакуацией при пожаре; классификация систем управления эвакуацией.

Количество зданий крупных торгово-развлекательных центров в городах непрерывно растет, что связано в первую очередь с уменьшением площади, на которой возможна городская застройка, а также с потребностью концентрировать все типы потребительских услуг в одном месте.

Здания с массовым пребыванием людей (далее — МПЛ) в силу своей специфики имеют большую степень потенциальной пожарной опасности в сравнении с остальными зданиями, так как на сравнительно небольшой площади аккумулируется значительное количество разнообразной пожарной нагрузки.

Проанализированы статистические данные [1], которые показывают, что соотношение числа погибших к числу пожаров на предприятиях торговли имеет стабильно установившиеся значения (рис. 1).

За последние несколько лет произошел ряд крупных пожаров в ТЦ, повлекших за собой гибель и травмирование людей:

- 28 мая 2012 г. — пожар в торговом центре *Villagio Mall*, расположенном в столице Катара Дохе; погибли 19 чел.;
- 22 января 2011 г. — взрыв газового оборудования в пятиэтажном торгово-развлекательном центре “Европа” в Уфе с последующим пожаром; погибли 2 чел., пострадали 15 чел., 8 из них госпитализированы;
- 11 июля 2005 г. — пожар в торговом центре “Пассаж” в г. Ухте; 25 чел. погибли, 10 получили травмы.

Анализ пожаров в ТЦ выявил, что одной из причин гибели людей стало отсутствие полноценной системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ).

В работе [2] было проведено исследование с целью установления закономерностей выбора пути эвакуации при пожаре в ТЦ. Результаты исследования показали, что почти 80 % пожилых и взрослых посетителей (постоянных клиентов) не смогли вспомнить нахождение хотя бы одного из эвакуационных выходов или заявили, что их поведение в чрезвычайных ситуациях будет неэффективным. В случае усложнения внутренней планировки ТЦ имеет место увеличение числа посетителей (до 41,4 %), которые намерены искать указатели пути эвакуации.

Анализ статистических данных по пожарам в зданиях ТЦ [1] и публикаций [2–7] выявил факторы, способствующие увеличению времени эвакуации людей при пожаре (рис. 2).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что одним из основных направлений совершенствования системы обеспечения пожарной безопасности зданий с МПЛ является проведение

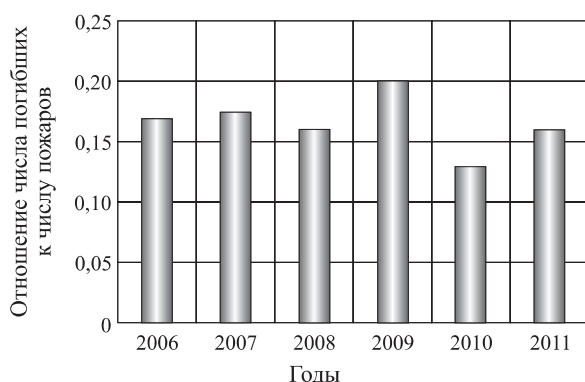


Рис. 1. Соотношение количества погибших к числу пожаров на объектах торговли



Рис. 2. Факторы, способствующие увеличению времени эвакуации людей

эвакуационных мероприятий, а именно *управление* процессом эвакуации. Под управлением процессом эвакуации понимается процесс организации и управления движением людей при пожаре.

По результатам проведенного обзора существующих СОУЭ была разработана сравнительная таблица, в которой приведены функциональные возможности таких систем.

На диаграмме (рис. 3) представлено распределение количества функций у различных СОУЭ. Из диаграммы становится очевидным, что лидером по количеству разработанных СОУЭ является Германия, за ней следуют США и Великобритания. Кроме того, системы, разработанные в Германии, являются и наиболее функциональными.

В Российской Федерации еще в середине 90-х годов было предложено проводить оценку возможных путей эвакуации при пожаре, управлять работой указателей путей эвакуации в качестве функций СОУЭ в составе автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности объектов защиты [8]. Тем не менее до сих пор полноценного развития и реализации данные функции не получили.

На основе анализа существующих СОУЭ предлагается обобщенная классификация таких систем (рис. 4).

Функциональные возможности систем управления эвакуацией

№ п/п	Система	Динамические указатели	Математическое моделирование выбора пути эвакуации	Предварительно подготовленные алгоритмы управления	Информационное обеспечение ЛПП*	Информационные базы данных	Использование датчиков контроля ОФП	Определение количества людей на путях эвакуации
1	Laser guidance emergency navigation method and system	✓						
2	Method and system for emergency evacuation of building occupants			✓				
3	Evakuierungssystem	✓	✓	✓				
4	Leitsystem	✓		✓				
5	A DDS System for evacuation		✓		✓			
6	D.E.R.-system	✓		✓				
7	Leitsystem für Flucht- und Rettungswege	✓						
8	Fire escape system							
9	Verfahren zur Personenstromlenkung durch ein Fluchtwegleitsystem			✓		✓		
10	Notfallinformationssystem						✓	
11	Monitoring the evacuation of people			✓			✓	
12	Evakuierungsvorrichtung und Fluchtweganzeige hierfür	✓	✓	✓				✓
13	On the quantitative response rank				✓			
14	Towards adaptive sensor data management for distributed fire evacuation infrastructure		✓		✓	✓		
15	Premise evacuation system		✓					
16	СОУЭ 5-го типа			✓				

* ЛПП — лицо, принимающее решение во время эвакуации людей (оператор).

Примечание. Знаком "✓" обозначается наличие функции.

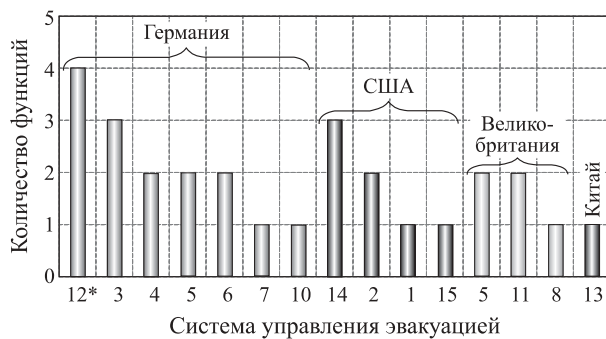


Рис. 3. Количество функций в рассматриваемых СОУЭ.

* Номер соответствует положению в таблице

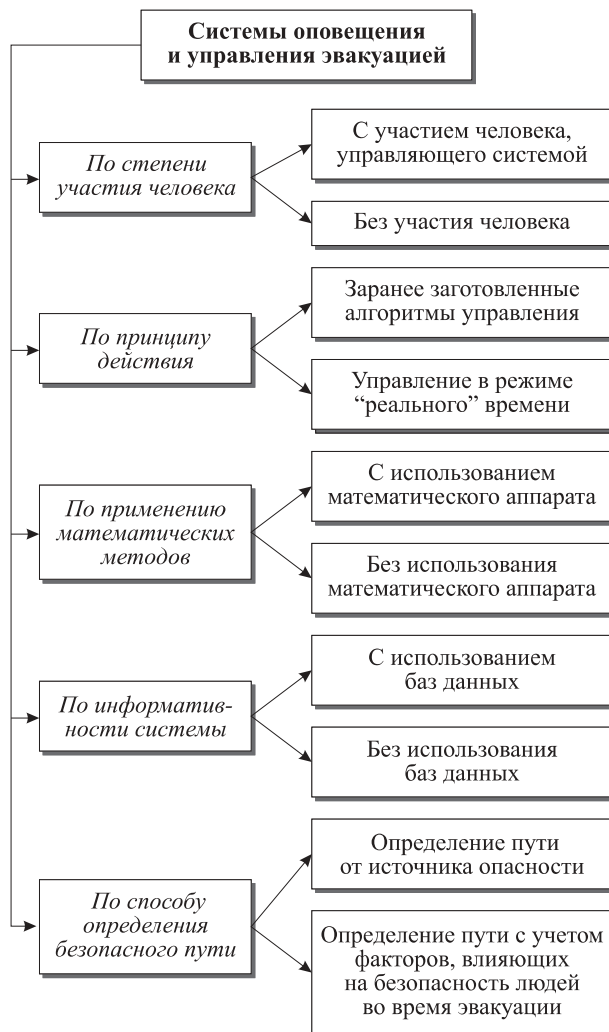


Рис. 4. Предлагаемая обобщенная классификация СОУЭ

На рис. 5 представлено распределение количества функций по системам оповещения и управления эвакуацией.

Из рис. 5 видно, что такие важные функции, как наличие предварительно заготовленных алгоритмов управления (47 %), применение динамических указателей (40 %) и математическое моделирование процессов эвакуации (33 %), используются менее чем в половине рассмотренных систем. Определение ко-



Рис. 5. Распределение количества функций по системам оповещения и управления эвакуацией

личества людей на путях эвакуации и применение датчиков контроля опасных факторов пожара реализованы менее чем в 14 % систем.

Таким образом, функциональность рассматриваемых СОУЭ при пожаре сравнительно низка. В большинстве систем реализовано не более 4 функций (как правило, 2–3). Наличие ограниченного набора функций вызвано относительно небольшим количеством исследований и апробированных инженерных решений в области управления эвакуацией в целом.

Принимая во внимание проблемы, с которыми могут столкнуться эвакуируемые во время пожара, и учитывая уже созданные СОУЭ, определили ряд задач, которые должна решать СОУЭ, а также требования, предъявляемые к ней:

- автоматизация, при которой окончательное решение по управлению процессом эвакуации принимает человек;
- использование специального оборудования (датчики, видеодетекторы и т. д.), предназначенного для определения места возникновения опасности и контроля процесса эвакуации;
- наличие подготовленной базы данных по всем возможным путям эвакуации, опасности на таких путях и их протяженности;
- предложение вариантов оптимальных путей эвакуации с использованием алгоритмов и математических моделей как для зоны пожара, так и для остальных зон;
- информирование эвакуируемых об оптимальных путях эвакуации из зоны, в которой они находятся, с помощью динамических указателей путей эвакуации.

На основе полученных результатов анализа определено основное направление дальнейшей работы: создание методов и алгоритмов определения оптимальных путей эвакуации людей при пожаре для использования в составе автоматизированной СОУЭ, адаптированной к различным планировкам зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климина. — М. : ВНИИПО, 2011. — 140 с.
2. Carattin E. Wayfinding architectural criteria for the design of complex environments in emergency scenarios in evacuation and human behavior in emergency situations // Advanced research workshop proceedings / Eds. Jorge A. Capote, Daniel Alvear. — Santander, 21 October 2011, Universidad de Cantabria. — P. 209–222.
3. Cherniak A., Zadorozhny V. Towards Adaptive Sensor Data Management for Distributed Fire Evacuation Infrastructure // IEEE Computer Society. — 2010. — P. 151–156.
4. Шихалев Д. В., Хабибулин Р. Ш. Автоматизация управления действиями людей при пожарах в зданиях // Матер. XIX науч.-техн. конф. “Системы безопасности”. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — С. 197–198.
5. Шихалев Д. В. Перспективы создания системы поддержки принятия решений для управления эвакуацией // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. — Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. — С. 23–24.
6. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
7. Таранцев А. А. Методы расчета времени эвакуации людей из зданий и сооружений : учеб. пособие. — СПб. : СПбУ ГПС МЧС России, 2009. — 42 с.
8. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. — М. : МИПБ МВД России, 1997. — 164 с.

Материал поступил в редакцию 7 марта 2013 г.

English

ESCAPE ROUTE SYSTEMS AT SHOPPING MALLS

SHIKHALEV D. V., Postgraduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: evacsysteam@gmail.com)

KHABIBULIN R. Sh., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Information Technologies Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: kh-r@yandex.ru)

ABSTRACT

Having some specificity, shopping malls have a greater potential fire risk in comparison to other buildings, as a relatively small area is accumulated a large number of people. The first things that needs to be said is one of the most dangerous buildings are shopping malls as buildings with mass of occupants.

The analysis of fires in the shopping malls has revealed that the cause of death was including the lack of evacuation systems. The statistical data are analyzed, which show that the ratio of the number of deaths to the number of fires in shopping malls has the stable value.

The analysis of statistical data on fires in shopping malls and publications has showed factors contributing to the increase the time of people's evacuation: customers are not aware the evacuation plan, the presence of many people in confined spaces, evacuees were not able to objectively assess the situation, blocking of evacuation routes which have already selected.

On the conducted analysis of existing escape route systems the comparative table, which represents the functionality of escape route systems, was developed. Founded on the analysis of existing escape route systems, the classification of these systems was created.

It has found that those important function as: prepared algorithms of management of evacuation (47 %), using dynamic indicators (40 %) and mathematical simulation (33 %) were used to less than half of the considered systems. Calculating the number of people and using control sensor were used less than 14 % of the systems.

Keywords: evacuation; management of evacuation in a burning building; the classification of escape route systems.

REFERENCES

1. Klimkin V. I. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2010 godu: statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2010. Statistical Yearbook]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2011. 140 p.
2. Carattin E. Wayfinding architectural criteria for the design of complex environments in emergency scenarios in Evacuation and human behavior in emergency situations. *Advanced research workshop proceedings* (Eds. Jorge A. Capote, Daniel Alvear). Santander, 21 October 2011, Universidad de Cantabria, pp. 209–222.
3. Cherniak A., Zadorozhny V. Towards Adaptive Sensor Data Management for Distributed Fire Evacuation Infrastructure. *IEEE Computer Society*, 2010. pp. 151–156.
4. Shikhalev D. V., Khabibulin R. Sh. Avtomatizatsiya upravleniya deystviyami lyudey pri pozharakh v zdaniyakh [Automating the management of the actions of people during fires in buildings]. *Materialy XIX nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sistemy bezopasnosti"* [Proc. XIX scientific and technical conference "Security Systems"]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010, pp. 197–198.
5. Shikhalev D. V. Perspektivy sozdaniya sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya upravleniya evakuatsiyey [Prospects of a decision support system for evacuation management]. *Aktualni problemi tekhnichnykh ta prirodnichikh nauk u zabezpechenni diyalnosti sluzhbi tsivilnogo zakhistu: tezi dopovidey IV Mizhnarodnoi naukovopraktisnoi konferentsii* [Actual problems of technic and science activities in ensuring civilian protection service. Abstracts of IV International scientific practice conference]. Cherkassy, Academy of Fire Safety behalf of the Heroes of Chernobyl, 2011, pp. 23–24.
6. Holshchevnikov V. V., Samoshin D. A. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [The evacuation and human behavior in fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 212 p.
7. Tarantsev A. A. Metody rascheta vremeni evakuatsii lyudey pri pozharakh [Methods of calculating the time of evacuation of people from buildings and structures]. St.-Petersburg, Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2009. 42 p.
8. Topolskiy N. G. *Osnovy avtomatizirovannykh sistem pozharovzryvbezopasnosti* [Fundamentals of automated systems of fire and explosion safety of objects. Monograph]. Moscow, Higher Technical School of Engineering of Fire of Interior Ministry of Russia, 1994. 200 p.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. 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

Представляют **Международная ассоциация природных пожаров (IAWF)** и **Ассоциация пожарной безопасности (IAFSS)**
в содействии с **Томским государственным университетом (Россия)** и **Политехническим институтом Вустера (WPI, США)**

4-10

Конференцию по исследованию поведения **ПОЖАРОВ** и **ТОПЛИВ**

1–4 июля 2013 г. Санкт-Петербург, Россия

ЧТО ОЖИДАТЬ ОТ ЭТОЙ КОНФЕРЕНЦИИ?

Высокопрофессиональный форум с пленарными заседаниями, круглыми столами и выставкой экспонентов, на котором докладчики и участники смогут обмениваться информацией в различных областях, повысить осведомленность о разнообразии подходов, способов и идей для борьбы с природными пожарами, способствовать обмену опытом и идеями между менеджерами, исследователями и пожарными различных регионов и стран.



РЕКЛАМА

Целевая аудитория

- Исследователи и ученые
- Специалисты научно-исследовательских и образовательных учреждений МЧС России
- Сотрудники лесных служб
- Представители бизнеса и общественных организаций
- Представители СМИ и органов власти Российской Федерации
- Любимой желающий, кто заинтересован и в будущем планирует работать в области природных пожаров

Основные темы конференции:

- Лесные, степные и торфяные пожары
- Спутниковый мониторинг
- Физико-химические и механические свойства аэрозоля и дыма
- Методики риск-анализа
- Стратегия, тактика и методы борьбы с природными пожарами
- Пожары на природно-урбанизированных территориях
- Пожарная безопасность
- Управление рисками
- Прогноз природных пожаров
- Моделирование возникновения и распространения пожаров
- Выбросы от природных пожаров
- Химия горения
- Топливная нагрузка и ее динамика
- Картографирование и моделирование динамики топлива
- Лесоводственно-экологические последствия пожаров
- Подготовка и обучение будущих пожарных



Дополнительную информацию Вы можете найти на нашем сайте
<http://www.iawfonline.org/2013FuelsConference/index.php>
aifilkov@gmail.com



Международный отраслевой форум-выставка **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА**

Москва, МВЦ «Крокус Экспо», II павильон, зал №10
24-27 сентября 2013 года

12-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА»

- Пожарная безопасность отраслевых направлений экономики и жизнедеятельности
- Пожарная техника, оборудование, системы защиты и спасения
- Охранная и пожарная автоматика (комплексные системы безопасности)
- Услуги в области пожарной безопасности
- Противопожарная пропаганда

Конкурсы:

- «Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности»
- «Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения»
- «Лучшие материалы и наглядные пособия по противопожарной пропаганде и обучению мерам пожарной безопасности»

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА В НАПРАВЛЕНИИ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ВОПРОСЫ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ. ИНВЕСТИЦИИ»

РЕКЛАМА



Дирекция выставки: +7 (495) 727-25-98, fireexpo@crocus-off.ru, <http://www.fireexpo.ru>

Организатор:
Крокус Экспо
Международный выставочный центр

Генеральный
информационный партнёр:
**РИА
Индустрия
Безопасности**

Официальный информационный
партнёр:
**МЧС
АМЕРИКА**

Главный
Интернет-партнёр:
SEC.RU
сервисный центр
к интернет-магазину

Главный информационный
партнёр:
СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
S

Официальный
партнёр:
ОБЖ

Региональный
медиа-партнёр:
**112 ЕДИНАЯ СЛУЖБА
СПАСЕНИЯ**

Информационный партнёр
МВЦ «Крокус Экспо»:
БВ

Л. В. ДАШКО, научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория Экспертно-криминалистического центра МВД России (Россия, 125130, г. Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5)

А. В. ДОВБНЯ, старший эксперт отдела взрыво- и пожарно-технических экспертиз, Управление технических экспертиз Экспертно-криминалистического центра МВД России (Россия, 125130, г. Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5)

В. Ю. КЛЮЧНИКОВ, заместитель начальника отдела взрыво- и пожарно-технических экспертиз, Управление технических экспертиз Экспертно-криминалистического центра МВД России (Россия, 125130, г. Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5)

Г. В. ПЛОТНИКОВА, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры пожарно-технической экспертизы, ФГКОУ ВПО Восточно-Сибирский институт МВД России (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110; e-mail: plotnikovagv@mail.ru)

УДК 614.841.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФРИКЦИОННУЮ ОСНОВУ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК АВТОМОБИЛЯ

Приведены результаты исследований методом термического анализа фрикционной основы тормозных колодок фирмы "Ferodo", подвергшихся и не подвергавшихся тепловому воздействию при различных температурах, с целью получения данных для использования при производстве пожарно-технической экспертизы для установления причин пожаров на автотранспортных средствах.

Ключевые слова: пожар; пожарно-техническая экспертиза; автотранспортные средства; тормозные колодки; фрикционная основа; термический анализ.

В последние годы в России проблемы расследования и исследования пожаров на автотранспортных средствах (АТС) становятся все более актуальными. При этом представляется важным установление истинных причин пожаров и их виновников.

Во многих случаях возникновение пожара на автотранспортном средстве происходит в условиях неочевидности, поэтому для выяснения технических причин возникновения и развития пожаров необходимо проведение экспертиз и исследований различного профиля. Обширность применяемых технических знаний, которые базируются на фундаментальных законах физики и теплофизики, химии и химии горения, электротехники, материаловедения; использование научно-технических разработок в области пожарной тактики и пожарной безопасности, а также применение новых технологий объясняется тем, что в автомобиле конструктивно объединены элементы и системы, которые могут эксплуатироваться в экстремальном режиме, поэтому они могут быть опасны с точки зрения возникновения возгорания.

Исследование пожара на АТС имеет значение не только в уголовно-правовом аспекте, но и при решении вопросов, связанных с выплатой страхово-

го возмещения, поскольку автомобиль, как и любой другой объект собственности, может быть застрахован владельцем, в том числе и от пожаров, по различным причинам.

Пожары на автотранспортных средствах по количеству находятся на втором месте после пожаров в жилом секторе.

Несмотря на сравнительно небольшие размеры, современный автомобиль является сложным техническим устройством, совмещающим в себе передовые разработки, позволяющие его усложнять и совершенствовать. Однако это не исключает возможности возникновения пожаров на АТС по различным причинам, что наносит материальный ущерб, а иногда приводит к гибели людей. Пожары происходят не только в результате злоумышленных действий, но и нередко вследствие образования в работающих системах автомобиля горючей среды и появления в ней источников зажигания.

Исследование пожаров на автотранспортных средствах направлено на определение механизма возгорания, его дифференциацию как событие, обусловившее пожар, или как одно из последствий развития начавшегося ранее пожара. Исследование возгорания АТС представляет большие трудности ввиду ком-

пактности узлов и агрегатов, быстротечности процесса, а также потому, что из-за сильного теплового и пламенного воздействия уничтожается или сильно повреждается следовая картина на объектах-носителях.

Из материалов экспертной практики известно, что при пожаре на АТС основное влияние на характер процесса горения и формирование следовой картины термических поражений оказывает конструктивное исполнение различных отсеков автомобиля, их взаимное расположение и изолированность друг от друга и от окружающей среды.

Для пожарно-технического исследования важен следующий факт: все современные автотранспортные средства, несмотря на их разнообразие и назначение, объединяет то, что в них протекают различные физико-химические процессы, являющиеся в той или иной мере пожароопасными. Причем степень их опасности зависит не только от пожароопасных свойств применяемых веществ и материалов, но и от конструктивного устройства и режима работы автомобиля в целом. Это вызывает необходимость изучения как характеристик и показателей пожарной опасности различных систем, так и общей компоновки автомобиля.

Для правильной квалификации пожара на АТС необходимо его исследование специалистами, которые могут, применяя знания о возникновении и развитии горения различных веществ и материалов, дать объективное заключение.

В рамках производства пожарно-технических экспертиз нередко возникают задачи, связанные с определением технической неисправности элементов тормозной системы автотранспортных средств, находящихся в причинно-следственной связи с возникновением пожара.

Одним из важных элементов тормозной системы автомобиля являются тормозные колодки, которые играют значительную роль в безопасности движения. Они должны обеспечивать эффективное торможение в любых погодных условиях, особенно в сырую погоду. Тормозные колодки представляют собой металлическую пластину, на которой крепится специальная накладка, состоящая из фрикционных материалов (рис. 1).

Фрикционными материалами являются вещества с высоким коэффициентом трения, предназначенные для работы в условиях трения скольжения и высокой температуры. От характеристик фрикционного материала зависит качество тормозной колодки.

Для изготовления фрикционных материалов используют специальные смолы, синтетический каучук, органические и минеральные волокна, наполнители, модификаторы — всего около 300 компо-



Рис. 1. Тормозные колодки

нентов. Каждый производитель тормозных колодок имеет уникальную рецептуру фрикционного материала, которая держится в секрете. От фрикционного материала зависит коэффициент трения, жесткость и износостойкость тормозной колодки.

Фрикционные материалы, применяемые для изготовления деталей, работающих в условиях трения скольжения, характеризуются высокой фрикционной теплостойкостью (т. е. способностью сохранять коэффициент трения и износостойкость в широком диапазоне температур), низкой способностью к адгезии, высокой теплопроводностью и теплоемкостью, хорошей устойчивостью против теплового удара, возникающего в результате интенсивного выделения тепла в процессе трения. Основа фрикционной смеси — армирующий компонент, от которого зависит прочность, термостойкость и стабильность тормозных свойств изделия. Выделяют асбестовые, безасбестовые и органические (на основе органических волокон) компоненты. Фрикционные материалы изготавливаются на основе органических волокон, связующим веществом служат каучуки, смолы и т. п.

Пластмассовые материалы на связующем из каучука имеют относительно высокий и устойчивый коэффициент трения при температуре на поверхности трения 220–250 °С. Они применяются для накладок тормозных колодок и колец сцеплений.

Пластмассовые материалы на смоляном связующем имеют более высокую износостойкость, но несколько меньший коэффициент трения. Один из лучших материалов этой группы — ретинакс, в состав которого входят фенолформальдегидная смола, барит, асбест и другие компоненты. Этот материал предназначен для использования в тормозных узлах с тяжелым режимом эксплуатации, где температура на поверхности трения может достигать 1000 °С [1, 2].

Точное содержание компонентов во фрикционной основе колодок является предметом исследования и коммерческой тайной. Обобщая сведения, изложенные в различных источниках, состав органической или полуметаллической колодки можно выразить следующим образом: фенолоальдегидный полимер (матрица), сульфат бария (наполнитель),

фибры (усилитель), частицы анакарда, графит, сульфиды металлов, абразивы, “фрикционная пыль”.

Испытания тормозных колодок, проводимые при тестированиях, показали, что при интенсивном использовании тормозные колодки могут нагреваться до 300 °C и более. При этом итальянские колодки Samko, которые “по холодному” тормозили отлично, в нагретом состоянии снизили эффективность почти в три раза: коэффициент трения упал с 0,6 до 0,22. А колодки “Полиэдр” при разогреве попросту вспыхнули. Сильное искрение вынудило снять с испытания и колодки AP Lockheed в паре с “фирменным” диском.

Знаменитый бренд Ferodo, под логотипом которого в настоящее время выпускают широкий спектр тормозных колодок для различных категорий автотранспорта, хорошо известен во всем мире благодаря высокому качеству продукции. В очередной раз он доказал это на примере тех образцов, которые были использованы для теста. В частности, модификации Premier FDB 1733, разработанные для Hyundai Sonata и произведенные на одном из американских заводов, продемонстрировали едва ли не самые высокие показатели в испытаниях на отрыв: запас прочности у этих тормозных элементов более чем в три раза превысил норматив, установленный российским ГОСТом.

Компания Ferodo специализируется исключительно на производстве деталей для тормозных систем. Имея огромный опыт и современные технологии, Ferodo предлагает тормозные колодки практически для всех автомобилей. Тормозные колодки Ferodo установлены на самые быстрые автомобили современности — Ferrari и Jaguar. В то же время при тестовых испытаниях установлено, что коэффициент “холодного” трения у колодок Ferodo составляет 0,44, а после прогрева до 250 °C их эффективность резко падает и коэффициент трения снижается до предельно допустимой отметки — 0,3. В цикле многократных торможений результат оказался еще хуже и составил 0,29. После остывания колодки Ferodo восстановились лишь на 80 % от первоначальной работоспособности (0,35), а вот износостойкость колодок оказалась хорошей: они стерлись лишь на 2,2 %.

Колодки сохраняют свой коэффициент трения в широком диапазоне температур — от 0 до 350 °C. Однако затем наступает момент резкого падения коэффициента трения под воздействием избыточной температуры, и дальнейший перегрев колодок может привести к их разрушению.

В экспертной практике имели место случаи, когда блокировка тормозных колодок приводила к разогреву тормозных дисков и барабанов с последующим возникновением горения. В связи с этим



Рис. 2. Тормозная колодка компании Ferodo

перед экспертом ставятся вопросы о степени перегрева элементов тормозной системы. Их можно решить, используя метод термического анализа с целью исследования теплофизических параметров фрикционной основы тормозных колодок.

Исходя из вышеизложенного, для проведения исследований с использованием методов термического анализа в качестве объекта была выбрана фрикционная основа тормозной колодки компании Ferodo (рис. 2).

Для экспериментальных исследований были отобраны образцы, четыре из которых были подвергнуты тепловому воздействию при различных температурах, а один образец, не подвергавшийся тепловому воздействию, был использован в качестве эталона [3].

Для получения термически поврежденных образцов их помещали в муфельную печь и производили термостатирование при температурах 200, 300, 500 и 900 °C; время теплового воздействия составляло 5 мин. Исследования проводились на термоанализаторе SDT Q-600 фирмы TA Instruments при следующих условиях: атмосфера — воздух; интервал температур 50–980 °C; скорость нагрева 20 °C/мин, линейная скорость продувочного газа 100 см³/мин.

На рис. 3 представлены результаты термогравиметрических (ТГ) измерений не подвергавшейся тепловому воздействию фрикционной основы тормозной колодки.

Сопоставив литературные данные [4, 5] по составу фрикционной основы тормозных колодок, не содержащих асбест, с результатами проведенного термического анализа, можно сделать вывод о степени повреждения и пределе термической стойкости каждой из компонентных групп.

Из рис. 3 видно, что при нагреве до 200 °C во фрикционной основе происходит разложение органических связующих. При нагреве выше 200 °C во фрикционной основе начинается процесс разложения органических наполнителей, содержание которых в ряде случаев может достигать 50 %. При на-

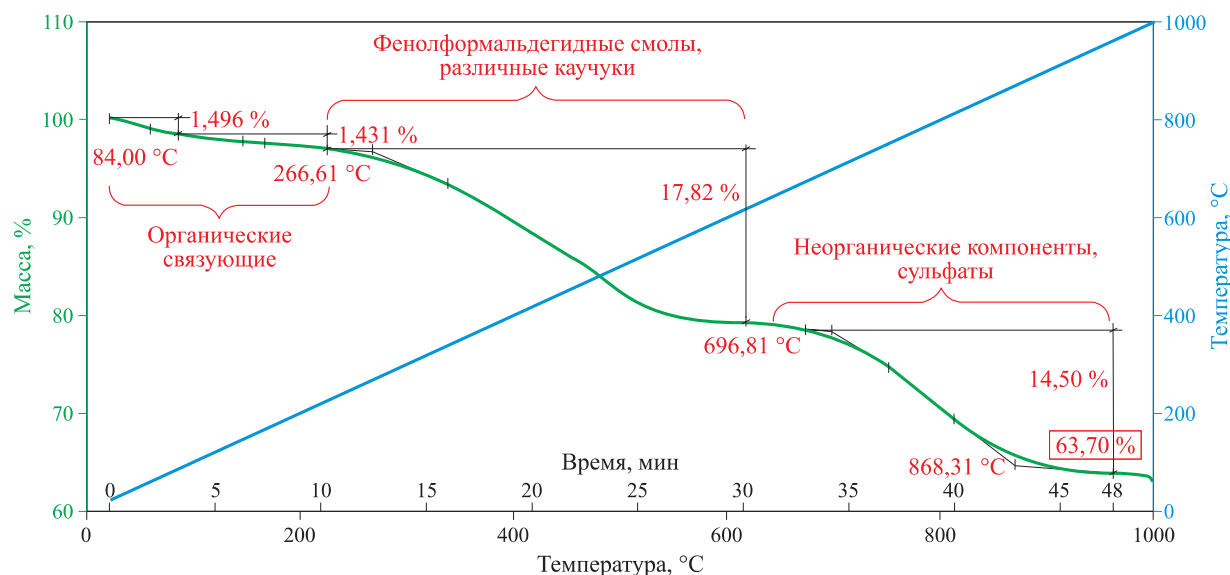


Рис. 3. Результаты ТГ-измерений фрикционной основы тормозной колодки

гревании образца свыше 600 °C происходит разложение компонентов на основе неорганических соединений.

На рис. 4 представлены результаты ТГ-измерений образцов фрикционной основы тормозной колодки, предварительно подвергшихся тепловому воздействию при разных температурах.

Из рис. 4 видно, что при температуре 200 °C максимальное разложение наблюдается у образца фрикционной основы, не подвергавшегося термическому воздействию, по сравнению с образцами, подвергшимися предварительному нагреву при температуре 200 и 300 °C. Потеря массы эталона составила до 3 %, что объясняется разложением органического связующего.

В интервале температур от 200 до 500 °C происходит разложение органической основы фрикци-

онного материала. Как правило, это различные фенолформальдегидные смолы и каучуки. Чем выше тепловое воздействие на образец, тем меньше содержание более летучих соединений в данном компоненте. Вследствие этого происходит смещение начала процесса разложения в область более высоких температур T_{xy} (где x — индекс, характеризующий начало процесса разложения органической составляющей фрикционной основы тормозной колодки; y — индекс, отражающий воздействие температуры на фрикционную основу).

Из рис. 4 видно, что у образца, предварительно прогретого при температуре 300 °C, температура начала разложения органической основы составляет 393,8 °C, а у образца, отожженного при 200 °C, она ниже и составляет 330,8 °C. В образцах, отожженных

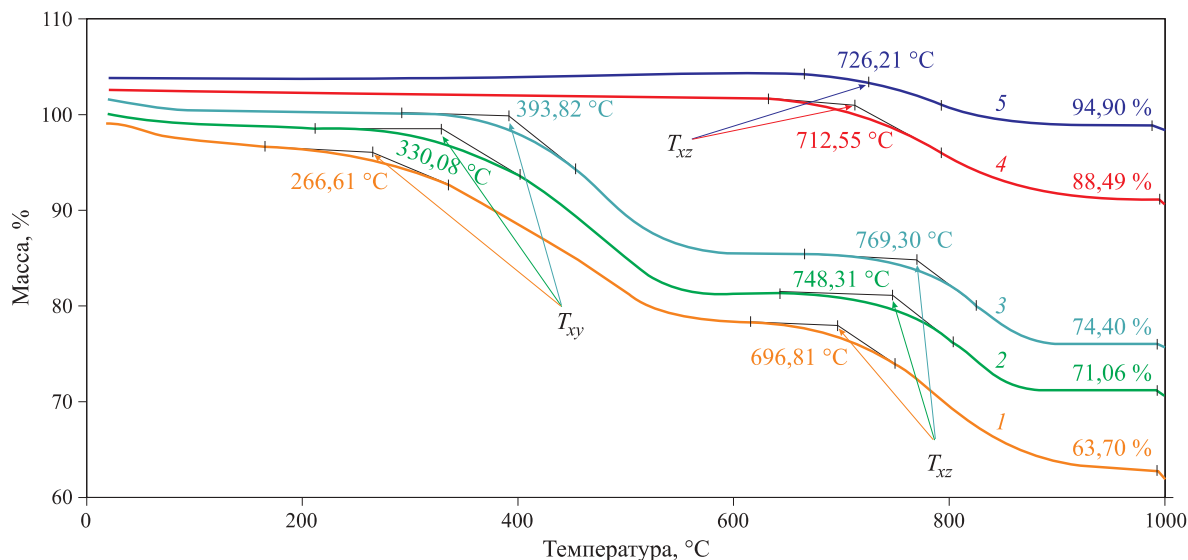


Рис. 4. Результаты ТГ-измерений образцов фрикционной основы тормозной колодки, не подвергавшихся термическому воздействию (1) и отожженных при температурах 200 (2), 300 (3), 500 (4) и 900 °C (5)

при 500 и 900 °С, органическая основа практически отсутствует.

Начиная с 600 °С происходит разложение неорганических компонентов фрикционной основы. В качестве неорганических компонентов используются различные соли и оксиды, в частности сульфат бария (данные на основе рентгенофлуоресцентного анализа). У образца, прогретого до 300 °С, температура начала разложения выше, чем у образца, прогретого до 200 °С (769,3 и 748,3 °С соответственно). Начало процесса разложения неорганических компонентов смещено в области более высоких температур у образцов, отожженных при более высоких температурах T_{xz} (где z — индекс, отражающий воздействие температуры на фрикционную основу).

В то же время у образца, предварительно отожженного при 900 °С, температура начала разложения составляет 726,1 °С, а у образца, прогретого предварительно при температуре 500 °С, — 712,5 °С, т. е. процессы разложения в отличие от остальных начинаются при более низких значениях температуры. Этот факт обусловлен тем, что при первоначальном температурном воздействии произошло разложение части неорганической составляющей. В образце, отожженном при 900 °С, потеря массы составляет около 5 % за счет разложения сульфата бария.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что полученные данные позволяют оценить степень теплового воздействия на фрикционную основу тормозной колодки по следующим критериям:

1) потеря массы Δm (%) при фиксированных значениях температуры. В образцах, отожженных при более высоких температурах, значение этого критерия будет минимальным;

2) зольный остаток m_z (%), определяемый по окончании процесса термоокисления при фиксированной температуре. Значение зольного остатка в образцах без теплового воздействия будет минимальным;

3) интервалы температур, внутри которых происходят процессы деструкции. Более широкий интервал наблюдается в образцах, не подвергнутых предварительному тепловому воздействию;

4) экстраполированные значения температур начала и окончания протекания термоаналитических эффектов. У термически деструктированных образцов экстраполированные значения будут смещаться в области более высоких температур (T_{xy} , T_{xz}).

Таким образом, используя результаты термического анализа при исследовании поврежденной фрикционной основы тормозных колодок, можно определить степень повреждения основы и температуру ее нагрева при эксплуатации при определении причины возникновения пожара автотранспортного средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский И. В. Трение и износ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1968. — 480 с.
2. Зельцерман И. М., Каминский Д. М., Оношко А. Д. Фрикционные муфты и тормоза гусеничных машин. — М.: Машиностроение 1965. — 240 с.
3. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. — Введ. 01.01.2010 г. — М.: Стандартинформ, 2009. — 24 с.
4. Мигунов В. П. Современные фрикционные металлокерамические материалы и перспективы их использования в машиностроении // В сб.: Оптимальное использование фрикционных материалов в узлах трения машин. — М.: Наука, 1973. — С. 17–25.
5. Brake pads and brake disks of the company FERODO. URL : http://www.ferodo-brakes.ru/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 (дата обращения: 29.03.2013 г.).

Материал поступил в редакцию 31 марта 2013 г.

English

APPLICATION OF THE METHODS OF THERMAL ANALYSIS IN THE STUDY OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE FRICTION BASIS OF THE BRAKE OF THE CAR

DASHKO L. V., Researcher, Scientific and Research Laboratory of Expert-and-Criminalistic Center of Ministry of Interior of Russian Federation (Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, Moscow, 125130, Russian Federation)

DOVBNYA A. V., Senior Expert of Explosion and Fire-and-Technical Expertise Department, Management of Technical Expertise of Expert-and-Criminalistic Center of Ministry of Interior of Russian Federation (Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, Moscow, 125130, Russian Federation)

KLYUCHNIKOV V. Yu., Deputy Head of Explosion and Fire-and-Technical Expertise Department, Management of Technical Expertise of Expert-and-Criminalistic Center of Ministry of Interior of Russian Federation (Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, Moscow, 125130, Russian Federation)

PLOTNIKOVA G. V., Candidate of Chemical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Fire Technical Examination, Eastern-Siberian Institute of Ministry of Interior of Russian Federation (Lermontov St., 110, Irkutsk, 664074, Russian Federation; e-mail address: plotnikovagv@mail.ru)

ABSTRACT

For establishing the technical causes of the emergence and development of fires automobile equipment, expert examination and investigation of various profiles. Fires do not take place only as a result of malicious acts, but often due to the education in the operating systems of the car of a combustible environment and appearance in it of ignition sources. Investigation of fires in vehicles is aimed at determination of the mechanism of ignition. The study of fire automobile presents great difficulties due to the compactness of knots and aggregates, the brevity of the process, but also because of the strong heat and the fierce impact is destroyed or heavily damaged tracking picture on objects-media. In the process of production of fire-technical examination, there are often tasks associated with the definition of a technical malfunction of the elements of the brake system, motor vehicles, which are in causal connection with occurrence of fire. Brake pads, which is an important component part of the brake system of the car, play a significant role in the traffic safety. In expert practice, there were cases, when the lock brake pads leads to heating of brake disks and drums with the subsequent emergence of burning. In this regard, the expert sets questions on the degree of overheating of the elements of the brake system. These questions can be solved using the method of thermal analysis, with the help of which explore the thermophysical parameters of friction basis of the brake pads. To conduct research using the methods of thermal analysis as the object was chosen as the basis of friction brake pads firm "Ferodo". By the results of the research found that, using the results of thermal analysis in the study of the damaged friction basis brake pads you can determine the degree of damage to the foundation and temperature of heating during the operation when determining the causes of the fire of the vehicle. In article results of researches of the fundamentals of friction brake pads firm "Ferodo" method of thermal analysis exposed and not exposed to thermal effects at different temperatures, with the aim of obtaining data for use in the production of fire-technical examination to establish the cause of the fire vehicles.

Keywords: fire; fire and technical expertise; motor transport means; brake linings; friction basis; thermal analysis.

REFERENCES

1. Kragelskiy I. V. *Treniye i iznos* [Friction and wear]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1968. 480 p.
2. Zeltserman I. M., Kaminskiy D. M., Onopko A. D. *Friktsionnyye mufty i tormoza gusenichnykh mashin* [Friction clutches and brakes caterpillar machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1965. 240 p.
3. *National Standard of the Russian Federation 53293–2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 24 p. (in Russian).
4. Migunov V. P. *Sovremennyye friktsionnyye metallokeramicheskiye materialy i perspektivy ikh ispolzovaniya v mashinostroyenii* [Modern friction ceramic materials and the prospects of their use in mechanical engineering. In collection: the Optimal use of friction materials in friction units of machines]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 17–25.
5. Brake pads and brake disks of the company FERODO. Available at: http://www.ferodo-brakes.ru/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 (Accessed 29 March 2013).

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

УДК 536.3:535.34:614.838.441

ЭКРАНИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫМИ ВОДЯНЫМИ ЗАВЕСАМИ

Выполнен теоретический анализ влияния параметров функции распределения капель по размерам на спектр пропускания водяной завесы. В качестве примера рассмотрены водяные завесы с логарифмически нормальным распределением капель. Исследована возможность замены полидисперсной водяной завесы ее монодисперсным аналогом с эквивалентными экранирующими свойствами. Выведены расчетные формулы для геометрического коэффициента пропускания водяной завесы и для диаметра капель эквивалентной монодисперсной завесы. Разработана методика расчетов коэффициента пропускания завесы для излучения абсолютно черного тела. С целью упрощения расчетных формул найдены функции аппроксимации и выполнены сравнительные расчеты для точных и упрощенных формул.

Ключевые слова: полидисперсная водяная завеса; экранирование теплового излучения; коэффициент пропускания.

Введение

Большое внимание, которое уделяется в последние годы исследованиям экранирующих свойств водяных завес, обусловлено практическим интересом к ним со стороны работников пожарной охраны и строительных организаций. В данной работе рассмотрены некоторые проблемы, связанные с их расчетом.

Большинство разработанных к настоящему времени математических моделей теплового экранирования рассматривают монодисперсные водяные завесы, упрощая таким образом проблему формализации задачи и решения уравнений [1–5]. В то же время известно, что реальные дренчерные оросители и другие источники в большинстве случаев создают распыленные водяные струи с весьма широким распределением капель по размерам [3, 6–8]. Таким образом, возникает вопрос об адекватности результатов применения существующих математических моделей для расчета процессов теплового экранирования.

Размер капель очевидным образом влияет на экранирующие свойства водяной завесы. Кроме того, от размера капель зависит их концентрация, которая также влияет на эти свойства [9]. Но для полидисперсной водяной завесы эта зависимость является весьма сложной, и некоторые из выводов, сделанных на основе математических моделей для монодисперсных завес, могут в данном случае оказаться несостоятельными.

В связи с этим необходимо исследовать вопрос о влиянии разброса капель по размерам на результа-

ты расчета коэффициента пропускания водяной завесы для теплового излучения. В частности, следует ответить на вопрос, возможна ли замена реальной распыленной струи ее модельным монодисперсным аналогом, эквивалентным ей по своим экранирующим свойствам. Если это допустимо, то нужно определить методику расчета диаметра капель такой монодисперсной завесы и проанализировать его зависимость от других параметров.

В работах [1–5, 8] отсутствует теоретически обоснованный критерий выбора такого эквивалентного диаметра для полидисперсной завесы. В одних работах это связано с тем, что в них отсутствует сравнение с экспериментом [1, 2, 4]. В других в качестве эквивалентного принимается средний диаметр Саутера $D_{3,2}$. При этом аргументации такого выбора либо нет [5, 8], либо в качестве таковой принимается близость расчетных и экспериментальных спектров пропускания водяной завесы [3]. Однако в последнем случае отсутствует обоснование легитимности такого сравнения, когда пространственно однородная по концентрации капель модельная завеса сравнивается с очевидно неоднородной экспериментальной. При этом по разнице относительно уровня спектров около 2–3 % сделан выбор между несколькими возможными вариантами эквивалентного диаметра [3], без учета того, что неизбежная экспериментальная погрешность может в несколько раз превышать эту величину.

Монодисперсная водяная завеса существенно проще для теоретического анализа по сравнению с полидисперсной, поэтому замена полидисперсной

завесы на эквивалентную ей по экранирующим свойствам монодисперсную должна привести к существенному упрощению расчетных формул. Но в этом случае необходимо исследовать вопрос о том, изменится ли при этом общий вид спектра пропускания и если да, то насколько сильно.

Помимо исследования спектров пропускания водяной завесы (т. е. зависимости коэффициента пропускания монохроматического излучения от длины волны), большой практический интерес имеет также исследование коэффициента пропускания для немонохроматического излучения. Это позволяет приблизить рассматриваемую проблему к реальным задачам, возникающим при тушении пожаров. Простейшим и наиболее удобным для исследования является излучение абсолютно черного тела, поскольку оно описывается достаточно простой математической формулой и в то же время дает возможность учесть влияние на спектр излучения температуры излучающего тела.

Постановка задачи

Для заданного удельного содержания воды в полидисперсной водяной завесе задача ставится следующим образом:

- 1) выполнить анализ влияния параметров функции распределения капель по размерам на коэффициент пропускания водяной завесы;
- 2) определить диаметр капель монодисперсной завесы, эквивалентной по экранирующим свойствам полидисперсной завесе;
- 3) сравнить спектры пропускания полидисперсной и эквивалентной ей монодисперсной завесы;
- 4) выполнить расчет зависимости коэффициента пропускания полидисперсной водяной завесы для излучения абсолютно черного тела от его температуры.

Математическая модель полидисперсной водяной завесы

Для достижения цели настоящей работы необходимо установить аналитическую функцию распределения, близкую к реальным распределениям капель, форму которой можно изменять с помощью численных параметров. В данном случае основным механизмом формирования капель является дробление в распылительном устройстве сплошного потока воды и последующие процессы дробления и коагуляции капель. Согласно теоретическим расчетам [10] в результате этих процессов устанавливается распределение капель по размерам, описываемое функцией логарифмически нормального распределения. Данная функция достаточно часто используется для аппроксимации результатов экс-

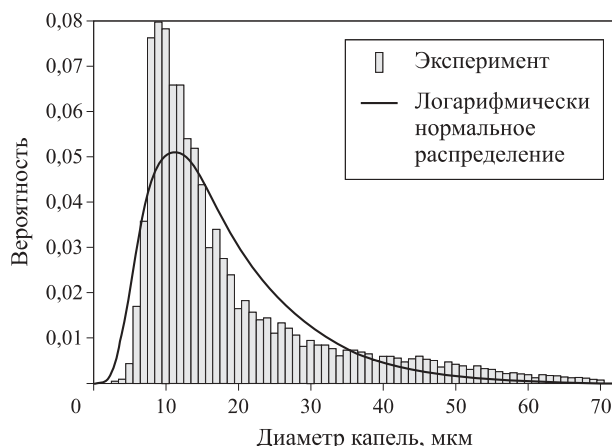


Рис. 1. Распределение капель распыленной струи по их диаметрам по данным [12] при $\mu = 15,7346$; $\sigma = 0,59206$

периментальных измерений реальных распределений по размерам капель распыленных водяных струй [8, 11, 12]. Пример такой аппроксимации представлен на рис. 1 [12]. Другими функциями распределения, которые наиболее часто используются с этой целью, являются функция Розин–Раммлера, функция Накаяма–Танасава и др. [13].

Следует учесть, что не существует аналитической функции распределения, которая бы при любых условиях идеально соответствовала реальным распыленным струям. Кроме того, эту степень соответствия не всегда удастся надежно определить из-за сложности экспериментов по измерениям таких распределений, имеющих довольно большую погрешность. Об этом свидетельствует, например, форма приведенной на рис. 1 экспериментальной гистограммы.

Однако в данной работе важно не подобрать наиболее точную аппроксимацию для реального распределения капель, а определить, как разброс размеров капель (относительно средней величины) влияет на экранирующие свойства распыленной струи. С этой целью можно использовать любую из названных выше функций распределения. В данной работе использована функция логарифмически нормального распределения [14]:

$$f(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma D} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D}{\mu} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где D — диаметр капель;

σ — параметр формы, определяющий ширину функции распределения;

μ — медиана (параметр масштаба).

Для решения поставленных задач необходимо исследовать влияние параметра σ на экранирующие свойства водяной завесы.

Средний диаметр капель D_{av} (математическое ожидание) распределения (1) определяется соотношением

$$D_{av} = \mu e^{\sigma^2/2}. \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи будем рассматривать полидисперсную водяную завесу как совокупность монодисперсных завес, каждой из которых соответствует одно значение из дискретного спектра диаметров капель, соответствующего заданному распределению $f(D)$. Весь диапазон значений диаметров капель представлен в виде ряда дискретных величин с шагом ΔD : $D_i = i\Delta D$, где индекс i принимает целочисленные значения. С уменьшением ΔD точность и адекватность расчета возрастают. Коэффициент пропускания полидисперсной завесы H_λ для излучения с длиной волны λ в целом равен произведению коэффициентов пропускания ее монодисперсных компонент:

$$H_\lambda = \prod_{i=1}^{i_{\max}} H_{\lambda i}. \quad (3)$$

Воспользуемся математической моделью [15, 16], в которой получена расчетная формула для коэффициента пропускания монодисперсной водяной завесы:

$$H = \exp \left[-0,934(1 - \eta)n_0 \frac{\pi D^2}{4} l \right], \quad (4)$$

где η — коэффициент пропускания сферической капли воды;

n_0 — счетная концентрация капель монодисперсной завесы, м^{-3} ;

l — толщина завесы, м.

Для монохроматического излучения с длиной волны λ уравнение для коэффициента пропускания капли имеет вид [16]:

$$\eta_\lambda = e^{-0,84\alpha_\lambda D},$$

где α_λ — коэффициент поглощения воды при длине волны λ , м^{-1} .

В этом случае из (4) получим:

$$H_\lambda = \exp \left[-0,934 (1 - e^{-0,84\alpha_\lambda D}) n_0 \frac{\pi D^2}{4} l \right]. \quad (5)$$

Используя (5), для монодисперсной компоненты с диаметром капель D_i найдем $H_{\lambda i}$ в уравнении (3):

$$H_{\lambda i} = \exp \left[-0,934 (1 - e^{-0,84\alpha_\lambda D_i}) n_i \frac{\pi D_i^2}{4} l \right], \quad (6)$$

где n_i — концентрация капель;

$$n_i = n_\sigma f(D_i) \Delta D. \quad (7)$$

В данном случае n_σ — это общая концентрация капель (количество капель всех диаметров в единице объема водяной завесы):

$$n_\sigma = \sum_{i=1}^{\infty} n_i.$$

Учитывая постановку задачи, необходимо определить величину n_σ для заданной объемной доли воды w_{vv} (суммарного объема капель в единице объема завесы):

$$n_\sigma = w_{vv} / V_{av}, \quad (8)$$

где V_{av} — средний объем капли для данного распределения;

$$V_{av} = \pi D_{3,0}^3 / 6, \quad (9)$$

$D_{3,0}$ — среднеобъемный диаметр капель данного распределения (индекс 3,0 соответствует общепринятой системе обозначений средневзвешенных величин для статистических ансамблей частиц).

Для определения $D_{3,0}$ необходимо использовать начальный момент третьего порядка μ_3 данной функции распределения:

$$D_{3,0} = \sqrt[3]{\mu_3} = \sqrt[3]{\mu^3 e^{9\sigma^2/2}} = \mu e^{3\sigma^2/2} = D_{av} e^{\sigma^2}, \quad (10)$$

где μ_3 — начальный момент 3-го порядка.

Таким образом, задавая в качестве начальных параметров w_{vv} , l , D_{av} и σ , можно выполнить расчет всех остальных характеристик водяной завесы. Для проверки данной методики расчета компонентной концентрации капель n_i по (7) был выполнен расчет w_{vv} :

$$w_{vv} = \sum_{i=1}^{i_{\max}} n_i \cdot \frac{\pi D_i^3}{6}.$$

При достаточно больших значениях $i_{\max}$ было получено совпадение расчетного значения параметра w_{vv} с заданным при любых комбинациях модельных параметров, что подтверждает правильность данной методики.

Весьма интересным и симптоматичным является поведение общей концентрации капель при изменении ширины функции распределения. Подставляя (10) в (9) и затем (9) в (8), найдем:

$$n_\sigma = \frac{6w_{vv}}{\pi D_{av}^3} e^{-3\sigma^2}. \quad (11)$$

На основании данного соотношения можно сделать вывод, что при фиксированных значениях среднего диаметра капель и содержания воды в завесе общее количество капель резко уменьшается при расширении функции распределения размеров капель (т. е. при увеличении параметра σ). Для примера на рис. 2 представлен расчет зависимости $n_\sigma(\sigma)$ для типичных значений $D_{av} = 0,1$ мм и $w_{vv} = 10^{-4}$.

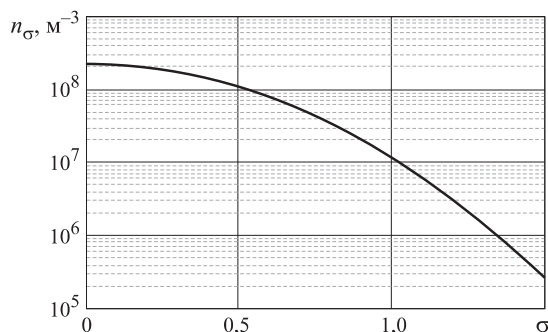


Рис. 2. Зависимость $n_\sigma(\sigma)$ для $D_{av} = 0,1$ мм и $w_{vv} = 10^{-4}$

Причина такого поведения общей концентрации капель заключается, очевидно, в следующем. Расширение функции распределения приводит к возрастанию доли крупных капель в объеме водяной завесы. Даже небольшое количество крупных капель вследствие их большого объема содержит значительную часть общего количества воды. Таким образом, с увеличением σ при том же удельном содержании воды в завесе уменьшается общее количество капель. Как будет показано ниже, это приводит также к уменьшению геометрического коэффициента экранирования (отношения суммарной площади сечения капель к площади завесы), который непосредственно связан с коэффициентом пропускания водяной завесы.

Впрочем, характер зависимости $n_\sigma(\sigma)$ может быть совершенно другим, если при изменении σ считать постоянной величиной не среднеарифметическое значение диаметра D_{av} , а какой-либо другой параметр. Например, при постоянной величине среднеобъемного диаметра капель $D_{3,0}$ получим, что n_σ остается постоянной при изменении σ . Если же считать постоянным средний диаметр Саутера $D_{3,2}$, то n_σ при увеличении σ будет возрастать. Вопрос о том, какой из названных средних диаметров является более предпочтительным для использования в расчетных формулах, достаточно сложен. В данном случае все расчетные формулы написаны через среднеарифметический диаметр D_{av} , но при необ-

ходимости можно осуществить преобразование любой формулы и написать ее через другой параметр на основе существующих взаимозависимостей между средними величинами.

Используя (1), (6), (7) и (11), для компоненты завесы с диаметром капель D_i получим следующее соотношение:

$$H_{\lambda i} = \exp \left[-0,934(1 - e^{-0,84 \alpha_\lambda D_i}) \times \right. \\ \left. \times \frac{3w_{vv} l \Delta D D_i}{2\sqrt{2\pi} \sigma D_{av}^3} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - 3\sigma^2} \right]. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в (3), получим:

$$H_\lambda = \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp \left[-0,559(1 - e^{-0,84 \alpha_\lambda D_i}) \times \right. \\ \left. \times \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - 3\sigma^2} \right]. \quad (13)$$

На рис. 3 представлены спектры пропускания (зависимости $H(\lambda)$), расчет которых выполнен для следующих значений параметров: объемная доля воды $w_{vv} = 10^{-4}$; толщина водяной завесы $l = 0,2$ м; математическое ожидание распределения $f(D)$ (средний диаметр капель) $D_{av} = 50$ мкм.

Из четырех расчетных спектров один (для $\sigma = 0$) получен с помощью расчетной формулы (5), а три других — с помощью формулы (13). Они соответствуют различным значениям параметра σ , указанным на рис. 3. Параметр σ определяет ширину распределения $f(D)$ и приблизительно равен отношению среднеквадратичного отклонения к среднему диаметру капель D_{av} . Для большей наглядности в правой части рис. 3 представлены графики распределений $f(D)$, соответствующих каждому значению σ . Для расчета спектров пропускания использованы данные работы [17], на основе которых выполнен расчет значений α_λ для каждой длины волны.

Расчеты, аналогичные представленным на рис. 3, были выполнены для широкого диапазона значений

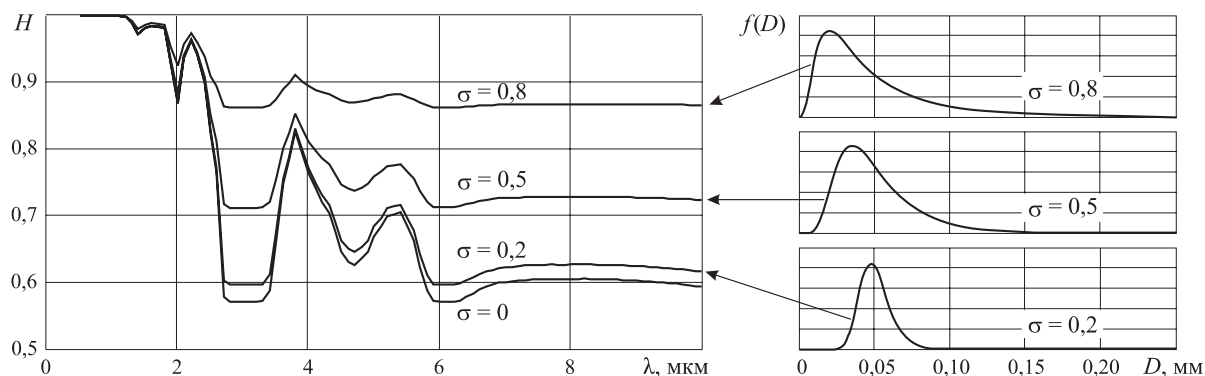


Рис. 3. Влияние ширины функции распределения капель по диаметрам на спектр пропускания водяной завесы

указанных выше параметров. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) при увеличении ширины функции распределения капель коэффициент пропускания водяной завесы возрастает (экранирующие свойства ухудшаются);
- 2) при уменьшении среднего диаметра капель D_{av} коэффициент пропускания уменьшается;
- 3) влияние ширины функции распределения на коэффициент пропускания становится существенным при $\sigma > 0,1$ (т. е. когда полуширина функции распределения превышает $0,1D_{av}$). При $\sigma < 0,1$ спектры пропускания полидисперсной и монодисперсной завес практически совпадают.

Определение параметров эквивалентной монодисперсной завесы

Весьма важным с практической точки зрения является вопрос о количественной связи между коэффициентом пропускания водяной завесы H_λ и параметром формы σ . Для установления такой взаимосвязи каждому из спектров пропускания необходимо поставить в соответствие количественный параметр, который характеризует его смещение вверх или вниз относительно других спектров (см. рис. 3). Нетрудно заметить, что форма каждого из спектров характеризуется некоторым минимальным уровнем, на котором находятся все наиболее интенсивные локальные минимумы спектра. Его происхождение связано с упоминавшимся выше геометрическим коэффициентом экранирования. Этот параметр характеризует экранирующие свойства завесы безотносительно к оптическим свойствам воды. По сути, он определяет суммарную площадь “тени” от капель при условии, что они являются непроницаемыми для излучения.

Геометрическим коэффициентом экранирования Ω_g будем называть отношение суммарной площади сечения капель (с учетом их взаимного перекрытия) S_k к площади завесы S :

$$\Omega_g = S_k / S.$$

С увеличением толщины завесы параметр Ω_g возрастает, асимптотически приближаясь к единице, но никогда не превышая ее, так как при этом увеличивается и вероятность взаимного перекрытия капель. Величина H_g , дополняя Ω_g до единицы, показывает относительную долю “просветов” между каплями на площади всей завесы и называется геометрическим коэффициентом пропускания:

$$H_g = 1 - \Omega_g.$$

Физический коэффициент пропускания H_λ стремится к этой величине при возрастании коэффици-

ента поглощения воды. Если капли поглощают все проникающее в них излучение, коэффициент пропускания капли η , входящий в (4), становится равным нулю. В этом случае сквозь завесу проходит только излучение, попавшее в “просветы” между каплями, в том числе и отраженное от поверхности капель.

Параметр H_g определяет минимальный уровень спектра пропускания водяной завесы. Математически он связан с экспоненциальным членом в круглых скобках в выражении (12). При тех длинах волн, при которых коэффициент поглощения воды α_λ достигает достаточно больших значений, данный экспоненциальный член становится почти равным нулю, а выражение в круглых скобках — единице. Дальнейшее увеличение α_λ уже не влияет на форму спектра, т. е. исходя из вышесказанного он достигает некоторого минимального уровня:

$$H_g(\sigma) = \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp \left[-0,559 \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} \times \right. \\ \left. \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - 3\sigma^2} \right]. \quad (14)$$

Из данного выражения можно определить, что минимальный уровень каждого спектра (т. е. геометрический коэффициент пропускания) зависит от параметров w_{vv} , l , D_{av} и σ . Формула (14) позволяет выполнить точный расчет H_g и получить соответствующие данные в виде таблиц и графиков, однако она неудобна для практических расчетов вследствие чрезмерной сложности.

В связи с этим необходимо найти более простую функцию аппроксимации, которая позволит выполнить приближенный расчет величины H_g , а также проанализировать ее зависимость от названных параметров.

Для $\sigma = 0$ (монодисперсная завеса) расчет спектра пропускания производится по формуле (5), из которой для геометрического коэффициента пропускания найдем (в данном случае $D = D_{av}$):

$$H_g(0) = \exp \left(-0,934 n_0 \frac{\pi D_{av}^2}{4} l \right). \quad (15)$$

С учетом (11) при $\sigma = 0$ запишем (15) через объемную долю воды:

$$H_g(0) = \exp \left(-1,4 \frac{w_{vv}}{D_{av}} l \right). \quad (16)$$

Исследуем возможность замены реальной полидисперсной завесы эквивалентной ей модельной монодисперсной завесой с таким же коэффициентом пропускания теплового излучения. С этой целью воспользуемся расчетными формулами для геометрического коэффициента пропускания этих завес

(14) и (16). Приравнивая эти два выражения, получим условие равенства их коэффициентов пропускания:

$$H_{g,eq}(0) = H_g(\sigma), \quad (17)$$

или

$$\exp\left(-1,4 \frac{w_{vv}}{D_{eq}} l\right) = \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp\left[-0,559 \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} \times \right. \\ \left. \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2}\right)^2 - 3\sigma^2}\right].$$

Отсюда диаметр капель эквивалентной монодисперсной завесы:

$$D_{eq} = -1,4 w_{vv} l \left\{ \ln \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp\left[-0,559 \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2}\right)^2 - 3\sigma^2}\right] \right\}. \quad (18)$$

Результаты расчетов, полученных с помощью данной формулы, были подвергнуты статистической обработке, и на их основе была найдена следующая функция аппроксимации:

$$D_{eq} = D_{av} e^{2,33\sigma^{2,33}}. \quad (19)$$

Применение формулы (19) вместо (18) позволяет существенно упростить расчеты. Концентрацию капель эквивалентной монодисперсной завесы найдем через заданную объемную долю воды w_{vv} и объем капли V_{eq} :

$$n_{eq} = \frac{w_{vv}}{V_{eq}} = \frac{6 w_{vv}}{\pi D_{eq}^3} = \frac{6 w_{vv}}{\pi D_{av}^3} e^{-7\sigma^{2,33}}. \quad (20)$$

Для расчета среднего диаметра Саутера $D_{3,2}$, который применялся в качестве эквивалентного диаметра капель в некоторых работах [3, 5, 8], в случае логарифмически нормального распределения получим:

$$D_{3,2} = \frac{\mu_3}{\mu_2} = \frac{\mu^3 e^{9\sigma^2/2}}{\mu^2 e^{2\sigma^2}} = \mu e^{5\sigma^2/2} = D_{av} e^{2\sigma^2}, \quad (21)$$

где μ_2 и μ_3 — начальные моменты 2-го и 3-го порядков.

Для сравнения результатов расчета зависимости $D_{eq}(\sigma)$ по формулам (18) и (19) на рис. 4 представлены соответствующие графики для типичных параметров водяных завес. Были выполнены расчеты и для других значений D_{av} , w_{vv} и l , которые также показали хорошее взаимное соответствие.

Показанные на рис. 4 результаты расчета по формуле (21) среднего диаметра Саутера $D_{3,2}$ свидетельствуют о его значительном несоответствии точным расчетным данным при $\sigma > 1$.

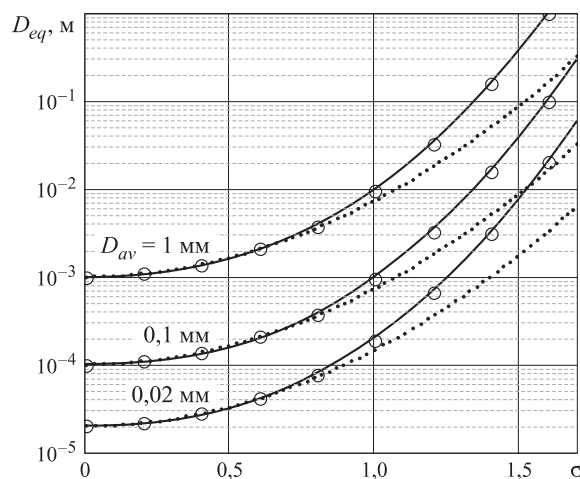


Рис. 4. Зависимость $D_{eq}(\sigma)$ при $w_{vv} = 10^{-4}$ и $l = 0,2$ м при расчете по формулам (18) (○), (19) (—) и (21) (•••)

Хорошее совпадение графиков функций (18) и (19) в широком диапазоне значений параметров водяных завес позволяет использовать функцию аппроксимации (19) для упрощения практических расчетов, связанных с полидисперсными водяными завесами. Подставляя в (16) вместо D_{av} выражение (19), получим функцию аппроксимации для величины H_g , которая позволяет выполнять ее приближенный расчет с помощью формулы, упрощенной по сравнению с (14):

$$H_g(\sigma) = \exp\left(-1,4 \frac{w_{vv} l}{D_{av}} e^{-2,33\sigma^{2,33}}\right). \quad (22)$$

На рис. 5 представлены примеры сравнения расчетов, выполненных с помощью точной формулы (14) и функции аппроксимации (22). Показанные здесь два семейства графиков соответствуют разным сочетаниям параметров, которые указаны на рисунке. По форме графиков можно судить о характере зависимости H_g от σ и от других параметров водяной завесы. Кроме того, по графикам рис. 5 можно сделать вывод о степени соответствия функции аппроксимации (22) точным расчетным данным.

Характер зависимостей на рис. 5 позволяет сделать следующий вывод: ширина функции распределения по размерам капель водяной завесы является одним из ее важнейших параметров. При этом параметр σ влияет на экранирующие свойства завесы довольно слабо, пока его значение не превышает $\sim 0,3$. При $\sigma > 0,3$ коэффициент пропускания завесы быстро увеличивается, а при $\sigma \geq 1$ тепловое экранирование становится неэффективным при любых значениях других параметров, соответствующих типичным режимам водяных завес.

Формальная замена реальной полидисперсной завесы ее монодисперсным аналогом с эквивалентным диаметром капель D_{eq} позволяет существенно упростить процедуру расчета спектров пропускания теплового излучения.

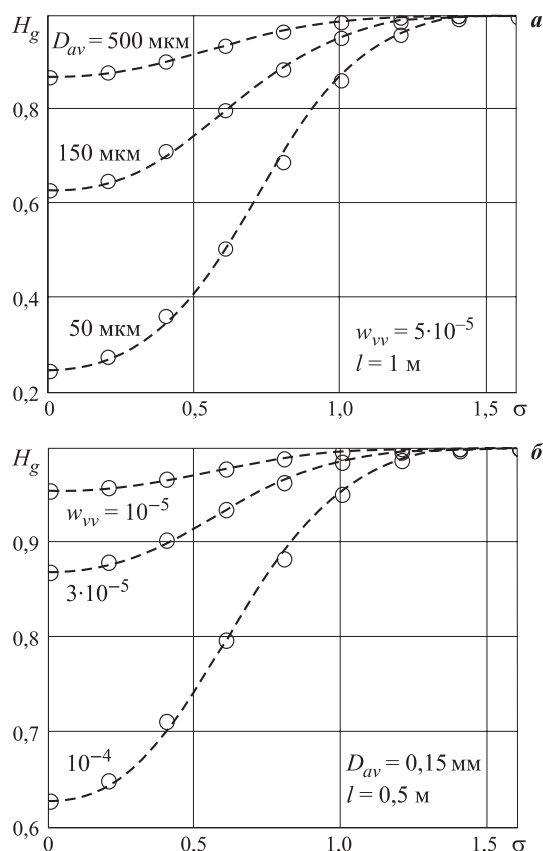


Рис. 5. Зависимости $H_g(\sigma)$ для различных значений D_{av} (а) и w_{vv} (б): $\circ$ — расчет по формуле (14); — — — функция аппроксимации (22)

Преобразуем расчетную формулу для коэффициента пропускания (5). Представим концентрацию капелек n_0 через объемную долю воды w_{vv} :

$$n_0 = 6w_{vv}/(\pi D^3).$$

После подстановки в (5) и замены D на D_{eq} получим:

$$H_\lambda = \exp \left[-1,4 \left(1 - e^{-0,84 \alpha_\lambda D_{eq}} \right) \frac{w_{vv}}{D_{eq}} l \right], \quad (23)$$

или

$$H_\lambda = \exp \left[-1,4 \left(1 - e^{-0,84 \alpha_\lambda D_{av} e^{2,33 \sigma^{2,33}}} \right) \times \frac{w_{vv}}{D_{av}} l e^{-2,33 \sigma^{2,33}} \right]. \quad (24)$$

Формула (24) может использоваться для приближенного расчета спектров пропускания. Для примера на рис. 6 представлен сравнительный результат расчета спектров, ранее показанных на рис. 3, для разных значений σ . Спектры, рассчитанные по точной формуле (13) и по приближенной формуле (24), достаточно близки по уровню и по форме (разница уровней не превышает 3 %). Следует отметить сглаживание особенностей спектров вследствие их расчета по приближенной формуле, которое особенно заметно при больших значениях σ .

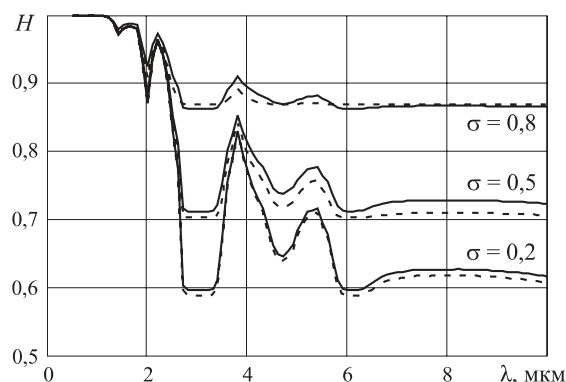


Рис. 6. Расчет спектров пропускания водяной завесы по формуле (13) (—) и по формуле (24) (---)

Таким образом, упрощенная формула (24) позволяет выполнить расчет спектров пропускания с точностью около 3 % от их минимального уровня. Но вследствие упомянутого эффекта сглаживания она не может применяться при исследовании тонкой структуры спектров.

Коэффициент пропускания водяной завесы для излучения абсолютно черного тела

Все представленные выше результаты получены для случая взаимодействия с водяной завесой монохроматического излучения. Они позволили выполнить необходимый в данном случае анализ экранирующих свойств полидисперсной завесы, а также получить расчетные формулы для эквивалентной монодисперсной завесы. Однако при практическом использовании водяных завес для экранирования тепловых потоков в зоне пожара излучение не является монохроматическим и характеризуется некоторым непрерывным спектром в определенном интервале длин волн инфракрасного диапазона. Форма спектра и спектральный интервал зависят от вещества очага пожара и его температуры. Простейшим способом учета этой температурной зависимости является моделирование очага пожара с помощью излучения абсолютно черного тела. В этом случае спектральное распределение интенсивности излучения I_λ , падающего на водяную завесу (планковский спектр), описывается выражением

$$I_\lambda = I_0 \lambda^{-5} \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)^{-1},$$

где I_0 — нормирующий коэффициент;
 h — постоянная Планка;
 c — скорость света в вакууме;
 k — постоянная Больцмана.

Расчет коэффициента пропускания полидисперсной водяной завесы для монохроматического излучения производится с помощью формулы (13), при выводе которой использована формула (5), опреде-

ляющая коэффициент пропускания монодисперсной завесы. Для немонохроматического излучения вместо формулы (5) необходимо использовать более общую формулу (4), которая содержит коэффициент пропускания сферической капли воды η . Повторяя те же математические процедуры, что и при выводе формулы (13), для немонохроматического излучения получим:

$$H_b = \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp \left\{ -0,559 [1 - \eta_b(D_i, T)] \times \right. \\ \left. \times \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - 3\sigma^2} \right\}. \quad (25)$$

Коэффициент пропускания сферической капли воды для излучения абсолютно черного тела η_b зависит от диаметра капли D и от температуры тела T . В [17] для его приближенного расчета получена функция аппроксимации:

$$\eta_b(D, T) = AD^B + C, \quad (26)$$

где A , B и C — коэффициенты, зависящие от температуры:

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} (T - 207,6)^{11,02}; \quad (27)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} T + 1,0519 \cdot 10^{-6} T^2 - \\ - 1,386 \cdot 10^{-9} T^3 + 5 \cdot 10^{-13} T^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} T^5; \quad (28)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495T}. \quad (29)$$

Для упрощения процедуры расчетов используем эквивалентную монодисперсную водяную завесу. Выполнив операции, подобные тем, что были сделаны при выводе приближенной формулы (24), для данного случая получим:

$$H_b = \exp \left\{ -1,4 [1 - \eta_b(D_{av} e^{2,33\sigma^{2,33}}, T)] \times \right. \\ \left. \times \frac{w_{vv} l}{D_{av}} e^{-2,33\sigma^{2,33}} \right\}. \quad (30)$$

Для проверки соответствия результатов расчетов, полученных с помощью точной формулы (25) и приближенной (30), на рис. 7 представлена серия графиков, полученных для типичных значений параметров водяных завес. Их сравнение позволяет сделать вывод, что погрешность, связанная с применением приближенной формулы (30), не превышает 3–4 % от величины H_b .

Графики на рис. 7 получены для параметров, соответствующих графикам на рис. 5, а, и подобны им по форме, но отличаются численными характеристиками. Это связано с тем, что параметр H_b , как и H_g , определяется геометрическими характеристиками водяной завесы (размеры и концентрация капель, толщина завесы). Но капли при расчете H_g являют-

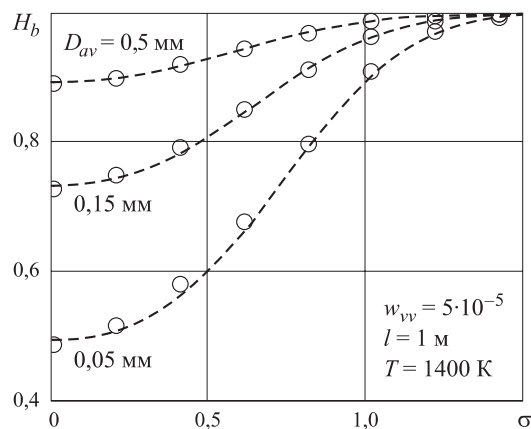


Рис. 7. Расчет зависимости $H_b(\sigma)$ по формуле (25) (○) и формуле (30) (— — —)

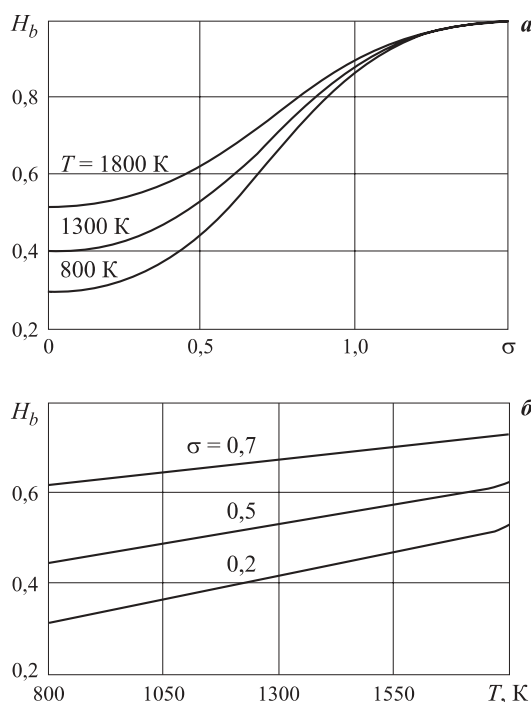


Рис. 8. Зависимость $H_b(\sigma)$ при разных температурах (а) и $H_b(T)$ при разных значениях σ (б) при $w_{vv} = 10^{-4}$, $D_{av} = 0,1$ мм и $l = 1$ м

ся непроницаемыми для излучения, а при расчете H_b — полупрозрачными, вследствие чего расчетные значения H_b превышают соответствующие им значения H_g .

При заданной функции распределения капель по их размерам коэффициент пропускания капель (и завесы в целом) зависит от спектрального состава излучения, т. е. от температуры его источника T . Для исследования этой связи были выполнены расчеты зависимостей $H_b(\sigma)$ при разных температурах T (рис. 8, а) и $H_b(T)$ при разных значениях σ (рис. 8, б). Они позволяют оценить значения коэффициентов пропускания водяной завесы для разных сочетаний ее параметров.

По поведению расчетных зависимостей, представленных на рис. 8, видно, насколько существенным является влияние температуры модельного очага пожара на коэффициент пропускания завесы. При повышении данной температуры коэффициент пропускания возрастает, и этот эффект наиболее сильно проявляется при малых значениях σ . При возрастании σ коэффициент пропускания увеличивается и становится менее зависимым от температуры очага пожара.

Выводы

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) геометрический коэффициент пропускания водяной завесы (минимальный уровень спектра пропускания) зависит от следующих параметров: объемной доли воды, толщины водяной завесы, среднего диаметра капель, ширины функции распределения капель по их размерам;
- 2) при увеличении ширины функции распределения капель (параметра σ) коэффициент пропускания водяной завесы возрастает (экранирующие свойства ухудшаются);
- 3) параметр σ влияет на экранирующие свойства завесы довольно слабо, пока его значение не превышает $\sim 0,3$; при $\sigma > 0,3$ коэффициент пропускания завесы быстро увеличивается, а при $\sigma \geq 1$ тепловое экранирование становится неэффективным при любых значениях

других параметров, соответствующих типичным режимам водяных завес;

- 4) в качестве диаметра капель эквивалентной по экранирующим свойствам монодисперсной завесы при $\sigma < 1$ можно принимать средний диаметр Саутера $D_{3,2}$; при $\sigma > 1$ необходимо использовать формулу (18), полученную в данной работе;
- 5) при замене реальной полидисперсной водяной завесы эквивалентной ей по экранирующим свойствам монодисперсной завесой происходит искажение формы (сглаживание особенностей) спектра пропускания завесы;
- 6) коэффициент пропускания полидисперсной водяной завесы для излучения абсолютно черного тела зависит от температуры тела (возрастает с увеличением температуры); данная зависимость ослабевает при увеличении параметра σ .

Поскольку рассмотрена только одна (логарифмически нормальная) функция распределения капель по размерам, в дальнейшем необходимо исследовать также водяные завесы с другими функциями распределения. Кроме того, для получения практических выводов необходимо разработать соответствующую методику расчетов и рассмотреть взаимодействие с полидисперсными водяными завесами также реального полихроматического излучения, отличающегося от спектра абсолютно черного тела и более близкого к излучению типичного очага пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for Attenuation of Fire Radiation Through Water Droplets // Fire Safety J. — 1989. — Vol. 15. — P. 171–181.
2. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains // Fire Safety J. — 1993. — Vol. 20. — P. 241–255.
3. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. — 2005. — Vol. 92. — P. 85–110.
4. Yang W., Parker T., Ladouceur H., Kee R. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety J. — 2004. — Vol. 39. — P. 41–66.
5. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to Fire Protection of the LNG Storage Tank Using Water Curtain // Int. J. of Thermal & Environmental Engineering. — 2011. — Vol. 2, No. 2. — P. 91–98.
6. Parent G., Boulet P., Gauthier S., Blaise J., Collin A. Experimental investigation of radiation transmission through a water spray // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. — 2006. — Vol. 97, No. 1. — P. 126–141.
7. Dembele S., Wen J. X., Sacadura J. F. Experimental study of water sprays for the attenuation of fire thermal radiation // ASME J. Heat Transfer. — 2001. — Vol. 123, No. 3. — P. 534–543.
8. Godoy W. F., DesJardin P. E. Efficient Transmission Calculations for Polydisperse Water Sprays Using Spectral Scaling // J. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. — 2007. — Vol. 108. — P. 440–453.
9. Виноградов А. Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 45–49.
10. Колмогоров А. Н. О логарифмически нормальном законе распределения частиц при дроблении // Доклады АН СССР. — 1941. — Т. 31, № 2. — С. 99–101.

11. Husted B. P., Petersson P., Lund I., Holmstedt G. Comparison of PIV and PDA droplet velocity measurement techniques on two high-pressure water mist nozzles // *Fire Safety J.* — 2009. — Vol. 44, No. 8. — P. 1030–1045.
12. Husted B. P. Experimental measurement of water mist systems and implications for modeling in CFD // Doctoral Thesis. — Sweden, Lund University, 2007. — 133 p. URL : http://www.dbi-net.dk/media/Doctoral_thesis_Bjarne_Paulsen_Husted_Main_Part.pdf.
13. Pimentel R. G. Measurement and prediction of droplet size distribution in sprays // Canada, Quebec, Université Laval, 2006. — 305 p. URL : <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23623/23623.pdf>.
14. Вадзинский П. Н. Справочник по вероятностным распределениям. — СПб. : Наука, 2001. — 295 с.
15. Виноградов А. Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 73–82.
16. Виноградов А. Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами. Ч. 2 // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 72–84.
17. Hale G. M., Querry M. P. Optical Constants of Water in the 200 nm to 200 mm Wavelength Region // *Appl. Optics.* — 1973. — Vol. 12, No. 3. — P. 555–563.

Материал поступил в редакцию 26 марта 2013 г.

English

HEAT RADIATION SHIELDING BY THE POLYDISPERSE WATER CURTAINS

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

ABSTRACT

The problem of thermal radiation shielding in a fire zone by means of the polydisperse water sprays is considered. The mathematical model of monodisperse water curtain earlier developed on the basis of a geometrical optics approximation is put in a basis of the work. It is known that the actual water sprays created by means of drencher systems and fire trunks, are polydisperse. The technique developed in this paper allows taking account of droplet size distribution of a water curtain. The received calculated formula allows carrying out calculations of transmission spectra of polydisperse water curtains for thermal radiation of near infrared region of 1–10 μm . As an example water curtain with logarithmic normal distribution function of droplet sizes have been considered. According to results of the executed calculations, the transmittance of thermal radiation strongly increases in process of increase in width of this distribution function. Possibility of replacement of an polydisperse water curtain by its monodisperse analog with the equivalent shielding properties is investigated, and the calculated formula for droplet diameter is derived. Use of the equivalent monodisperse curtain allows significant simplifying a calculation procedure of polydisperse curtain shielding properties. Calculation of polydisperse curtain transmittance for the black body radiation allowed defining its dependence on temperature and width of droplet size distribution function.

Keywords: polydisperse water curtain; heat radiation shielding; transmittance.

REFERENCES

1. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for Attenuation of Fire Radiation Through Water Droplets. *Fire Safety J.*, 1989, vol. 15, pp. 171–181.
2. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains. *Fire Safety J.*, 1993, vol. 20, pp. 241–255.
3. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2005, vol. 92, pp. 85–110.
4. Yang W., Parker T., Ladouceur H., Kee R. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression. *Fire Safety J.*, 2004, vol. 39, pp. 41–66.
5. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to Fire Protection of the LNG Storage Tank Using Water Curtain. *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 91–98.

6. Parent G., Boulet P., Gauthier S., Blaise J., Collin A. Experimental investigation of radiation transmission through a water spray. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2006, vol. 97, no. 1, pp. 126–141.
7. Dembele S., Wen J. X., Sacadura J. F. Experimental study of water sprays for the attenuation of fire thermal radiation. *ASME J. Heat Transfer*, 2001, vol. 123, no. 3, pp. 534–543.
8. Godoy W. F., DesJardin P. E. Efficient Transmission Calculations for Polydisperse Water Sprays Using Spectral Scaling. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2007, vol. 108, pp. 440–453.
9. Vinogradov A. G. Teoreticheskiy analiz prostranstvennogo raspredeleniya kontsentratsii kapel vodyanoy zavesy [Theoretical analysis of spatial distributing of droplet concentration of water curtain]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 1, pp. 45–49.
10. Kolmogorov A. N. O logarifmicheski normalnom zakone raspredeleniya chastits pri droblenii [About logarithmic normal distribution law of particles at subdivision]. *Doklady AN SSSR — Reports of Academy of Sciences of the USSR*, 1941, vol. 31, no. 2, pp. 99–101.
11. Husted B. P., Petersson P., Lund I., Holmstedt G. Comparison of PIV and PDA droplet velocity measurement techniques on two high-pressure water mist nozzles. *Fire Safety J.*, 2009, vol. 44, no. 8, pp. 1030–1045.
12. Husted B. P. Experimental measurement of water mist systems and implications for modeling in CFD. Doctoral Thesis: Sweden, Lund University, 2007. 133 p. Available at: http://www.dbi-net.dk/media/Doctoral_thesis_Bjarne_Paulsen_Husted_Main_Part.pdf.
13. Pimentel R. G. Measurement and prediction of droplet size distribution in sprays. Canada, Quebec, Université Laval, 2006. 305 p. Available at: <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23623/23623.pdf>.
14. Vadzinskiy R. N. Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam [Handbook of probability distributions]. St.-Petersburg, Nauka Publ., 2001. 295 p.
15. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanymi zavесami [Thermal radiation absorption by water curtains]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 73–82.
16. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanymi zavесami. Chast 2 [Thermal radiation absorption by water curtains. Part 2]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 72–84.
17. Hale G. M., Querry M. P. Optical constants of water in the 200 nm to 200 mm wavelength region. *Appl. Optics*, 1973, vol. 12, no. 3, pp. 555–563.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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

УДК 614.777:661.185

ЭКОЛОГИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ — ПОКА ЭТО ТОЛЬКО СЛОВА...

© **И. Ф. БЕЗРОДНЫЙ**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
ООО “Завод Спецхимпродукт” (Россия, 171261, Тверская обл., Конаковский район,
пгт. Редкино, ул. Заводская, д. 1; e-mail: heinzelmann@post.ru)

Многие проблемы и сложности современного мира являются результатом нашей собственной неадаптивности, ограниченности кругозора и простого нежелания думать о будущем, живя только сегодняшним днем. Одновременно каждый из нас желает для своих детей и внуков благополучия, справедливости и безопасности. Составной частью последней является экологическая безопасность.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) более чем из 6 млн. известных химических соединений на практике используется только около 500 тысяч; из них около 40 тысяч обладают вредными для человека свойствами, а 12 тысяч являются токсичными.

Какое же место занимает наша с вами деятельность по тушению пожаров и насколько велик вред, наносимый природе в результате пожаротушения? Говоря об экологии пожаротушения, целесообразно выделить три очевидных направления вредного воздействия:

- 1) вред, наносимый собственно пожарами в результате сгорания веществ;
- 2) вред, наносимый попаданием в окружающую среду огнетушащих веществ;
- 3) вред, наносимый попаданием в окружающую среду веществ, образующихся в процессе тушения пожара.

По первому направлению все ясно: вред от пожаров велик, но тушить надо обязательно. По третьему направлению сказать сегодня вообще нечего: сведения либо отсутствуют, либо доступ к результатам исследований закрыт.

А вот второе направление нуждается в детальном обсуждении, что мы и попытаемся сделать в рамках этой публикации.

Из всех известных технологий пожаротушения наиболее существенный “вредный” вклад вносит пенное пожаротушение, в том числе применение смачивателей, и газовое пожаротушение. Об экологичности применения газовых составов лучше знают мои коллеги, поэтому главным образом остановимся на пенообразователях, точнее на поверхностно-активных веществах (ПАВ).

Особенностью пенообразователей является их использование в виде водных растворов. После использования они покидают зону пожара и окружа-

ющее пространство также в виде водных растворов. Давайте взглянем на ситуацию с точки зрения эколога.

Вода — инертный растворитель, т. е. растворитель, не изменяющийся под воздействием веществ, которые он растворяет. Наиболее распространены загрязняющими веществами в поверхностных водах являются фенолы, легкоокисляющиеся органические вещества, соединения меди, цинка, а в отдельных регионах страны — аммонийный и нитритный азот, лигнин, ксантогенаты, анилин, метилмеркаптан, формальдегид и пр.

Огромное количество загрязняющих веществ вносится в поверхностные воды со сточными водами предприятий черной и цветной металлургии, химической, нефтехимической, нефтяной, газовой, угольной, лесной, целлюлозно-бумажной промышленности, предприятий сельского и коммунального хозяйства, поверхностным стоком с прилегающих территорий.

Подземные воды страдают от загрязнений, попадающих в них от нефтяных промыслов, предприятий горнодобывающей промышленности, полей фильтрации, шламонакопителей и отвалов металлургических заводов, хранилищ химических отходов и удобрений, свалок, животноводческих комплексов, неканализованных населенных пунктов.

Какие же требования предъявляют сегодня экологи к допустимому содержанию в водных источниках тех или иных веществ?

Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315–03 [1] содержат предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования только анионных ПАВ. Можно отыскать значения ПДК еще для некоторых химических веществ, которые можно отнести к ПАВ, например:

- № 16. Алкилбензолсульфонат натрия — 0,4 мг/л;
- № 30. АлкилC_{11–18}сульфонат натрия — 0,4 мг/л;
- № 919. Оксигетилированный алкилфенол — 0,1 мг/л.

Однако эти вещества не используются в составе пенообразователей. Вообще состав пенообразователей до настоящего времени все производители

тщательно скрывают — коммерческая тайна. В этом случае мы должны брать образцы каждого из пенообразователей и определять ПДК такой смеси веществ.

При этом концентрация ПАВ в воде водоемов не контролируется ни в России, ни в европейских странах. Как же быть с экологией? То есть экологи по поводу вреда, наносимого нашими пенообразователями, вообще не озабочены, а мы, не имея объективной информации об экологии того или иного региона, делаем вид, что сильно волнуемся по этому поводу.

Обратимся еще к одному нормативному документу — «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» [2]. Этот документ действовал до введения гигиенических нормативов [1]. Здесь поверхностно-активные вещества вообще отсутствуют. Таким образом, даже в те времена, когда мы использовали для пожаротушения практически повсеместно «биологически жесткие» пенообразователи, санитарные и экологические службы «не замечали» их вредного воздействия на окружающую среду.

Теперь можно сделать первый промежуточный вывод: *в нормативных санитарных и экологических документах отсутствуют достаточные количественные требования по величине ПДК ПАВ в воде.*

Взглянем на экологию традиционно (табл. 1) [3].

Как все мы понимаем, городские стоки попадают в водоемы в течение круглых суток, а не только

Таблица 1. Приоритетные виды антропогенных загрязнителей воды и их источники

№ п/п	Вид загрязнения воды	Отрасль промышленности
1	Взвешенные частицы	Коммунально-бытовое хозяйство
2	Ионы тяжелых металлов	Горнодобывающая, машиностроительная
3	Красители, фенолы	Текстильная
4	Легкоусвояемые и биогенные вещества	Сельское хозяйство, городское хозяйство
5	Лигнины	Целлюлозно-бумажная
6	Минеральные соли и др.	Химическая
7	Нефтепродукты	Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая
8	Органические растворители	Химическая
9	Пестициды	Сельское хозяйство
10	Радионуклиды	Атомная энергетика, военная
11	Синтетические ПАВ	Городские стоки

во время городских пожаров. К тому же городские пожары довольно редко тушатся с применением пенообразователей. Другими словами, пожаротушение не оказывает сколь-нибудь существенного влияния на загрязнение ПАВ городских сточных вод.

Давайте подойдем к проблеме с другой стороны. Попробуем оценить количественный вклад пенообразователей в общую массу вредных для экологии выбросов. В масштабах страны это сделать затруднительно, да и усреднение по столь неоднородной в промышленном развитии площади вряд ли добавит достоверности. Воспользуемся данными Роспотребнадзора Красноярского края (рис. 1) [4]. Для нас интересен среднегодовой размер выбросов. Примем его равным приблизительно 2,5 млн. т в год и запомним.

В нашем распоряжении есть и другие данные, например по Пермской обл. (материалы ФГУ «ТФИ по Пермской области» и ОГУ «Аналитический центр», рис. 2 и 3) [5].

Как видно из рис. 2 и 3, по сравнению с Красноярским кр. здесь выброс загрязняющих веществ несколько меньше, но тоже значителен и составляет в среднем более 1 млн. т в год. Эту величину можно

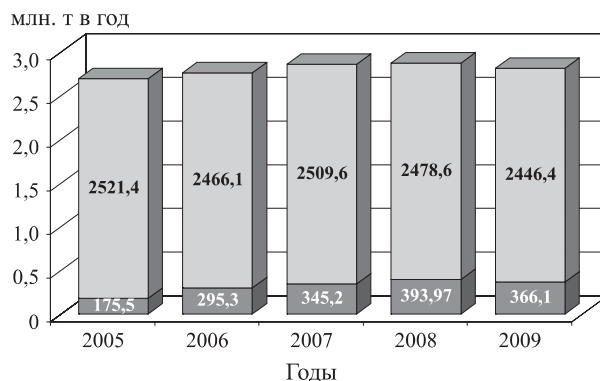


Рис. 1. Суммарные выбросы загрязняющих веществ в Красноярском кр.: ■ — автотранспорт; ■ — стационарные источники

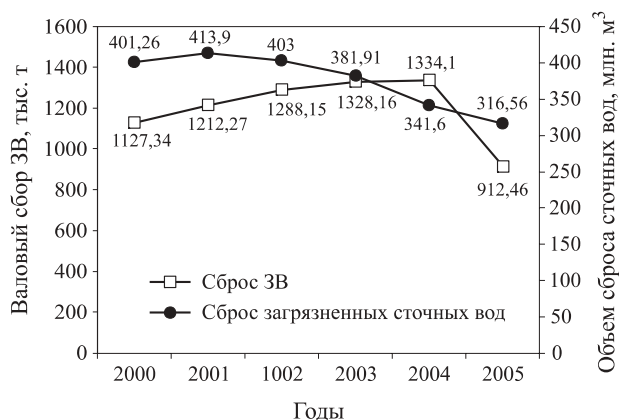


Рис. 2. Сброс сточных вод и загрязняющих веществ (ЗВ) в водные объекты Пермской обл.

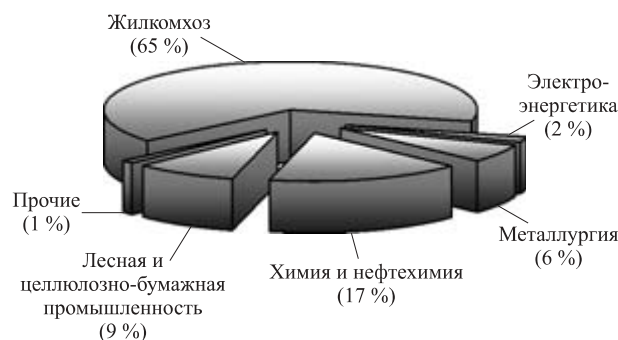


Рис. 3. Распределение сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты в 2005 г. по основным производственным отраслям Пермской обл.

тоже запомнить, а можно приплюсовать к аналогичным данным по другим регионам России. Хотелось бы обратить внимание на то, что 65 % загрязняющих веществ сбрасывает в воду коммунальное хозяйство (см. рис. 3). К сожалению, нам не удалось получить аналогичные данные по Москве и Московской обл., а было бы любопытно их узнать!

Теперь можно оценить суммарный выброс загрязняющих веществ по всей России (очень приблизительно, конечно) — 100 млн. т или даже больше.

Здесь нужно поблагодарить ОАО «Ивхимпром» за возможность воспользоваться информацией, размещенной на сайте этой организации, а именно — отчетами об их деятельности. Проведенное исследование российского рынка показало [6], что России требуется ежегодно примерно 17 тыс. т углеродородных пенообразователей и только 3 тыс. т фторсинтетических, т. е. в сумме около 20 тыс. т. Даже если все эти пенообразователи мы тут же выльем в водоемы, это составит 0,02 % от массы всех загрязняющих веществ! Другими словами, выброс пенообразователей в составе общей массы загрязняющих веществ в 5 тыс. раз меньше, чем всех остальных загрязнений.

Откуда же берется в сточных водах основная масса ПАВ? Экологи считают главным источником коммунальное хозяйство. Иначе говоря, это — сброс использованных моющих средств различного назначения.

Обратимся снова к маркетинговым исследованиям [7]. Объемы продаж синтетических моющих средств в России выросли с 679,6 тыс. т в 2006 г. до 1215,3 тыс. т в 2010 г. Очевидно, что объем пенообразователей на сегодняшний день составляет не более 1,6 % от объема всех ПАВ.

Второй промежуточный вывод: *загрязняющий вклад сброса в сточные воды пенообразователей, применяемых при тушении пожаров, на сегодняшний день минимален и не превышает 0,02 % от общего объема загрязнений.*

И вот в этих условиях мы имеем ГОСТ Р 50595–93 «Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде» [8, 9]. Другого инструмента для оценки биоразлагаемости ПАВ, входящих в состав пенообразователей, у нас нет. Стоит отдать должное энтузиазму Виктора Владимировича Бочарова: наверное, он смотрит в будущее пристальнее нас, но пока использовать предлагаемые им методики затруднительно, да и с учетом двух промежуточных выводов надо ли?

В чем же смысл указанного ГОСТ Р? В нашу задачу не входит детальный анализ методик, да он и не нужен для того, чтобы понять, насколько разумен и логичен сам поход к оценке возможного экологического вреда. Понятие «биологической разлагаемости», а также критерии биологической «мягкости» или «жесткости» ПАВ основаны на оценке скорости разложения (изменения концентрации) молекул ПАВ в результате жизнедеятельности неких бактерий, находящихся в определенном иле. Получается, что мы измеряем скорость разложения молекул: высокая скорость разложения — ПАВ биологически мягкое, низкая — жесткое. Но никто — ни экологи, ни санитарные органы не знают численных значений предельно допустимых или летальных (например, для рыб) концентраций тех или иных ПАВ. «Биологически мягкое» ПАВ может хорошо разлагаться, но его ПДК будет очень маленькой, и оно отравит все живое в округе, а другое, «жесткое», ПАВ разлагается именно этими бактериями в этом иле плохо, но его ПДК может быть в 1000 или более раз выше, и оно не вредит живому. Примерно это показали испытания, проведенные службой охраны рыб и диких животных США (см. ниже), а растиражировала их результаты в Европе и России французская компания «Дюпон» [10].

Если следовать логике авторов ГОСТ Р 50595–93, то получается, что мы как бы пытаемся измерить скорость, с которой движемся к некой цели (т. е. быстро или медленно), но при этом мы даже не задаем себе вопрос: насколько далеко мы от нашей цели находимся?!

Давайте опустимся «на землю»: многие понимают слова «биологически мягкий» как подтверждение отсутствия вреда экологии или минимальное вредное воздействие на нее [11]. На самом деле результаты испытаний по ГОСТ Р [8] не дают подтверждения именно этому! Все производимые сегодня пенообразователи декларируются как «биологически мягкие». Именно декларируются, но не проверяются. А поскольку инструмента проверки вредного воздействия нет, то простое декларирование похоже на лукавство.

Не секрет, что есть в России отдельные потребители, требующие подтверждения биологической раз-

лагаемости. Кто и как делает такие подтверждения — не тема сегодняшнего обсуждения. Но когда мы используем пенообразователь для тушения пожара, когда в окружающее пространство выбрасывается огромное количество загрязняющих веществ, что должно быть для нас важнее — разлагаемость или эффективность?

Наше сообщество с опасением относится к различным фторсодержащим продуктам, хотя зубная паста, кажется, устраивает всех. Особенно сильные сомнения породил отказ фирмы “3М” от выпуска пенообразователей торговой марки “Легкая вода”. И вот на нашем рынке новый продукт “3М” — Novec 1230 ($\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$). Отвлекаясь немного от экологии, хочу обратить внимание на то, что такое “хладоподобное” вещество обладает повышенной огнетушащей эффективностью в первую очередь потому, что уже при температуре 500 °C (что не редкость на пожаре) молекула “разваливается” на шесть частей, т. е. фактически впрыскивается не 1, а 6 молей газообразного вещества! Но мы говорим про экологию. Вот сведения о безопасности данного вещества из рекламной информации фирм “3М” и “Тусо” (рис. 4).

Да, при нормальных условиях это действительно безобидное вещество, но что с ним происходит при попадании в зону повышенных температур, нагретых поверхностей и т. п.? Это такой же сложный вопрос, как и поведение фторсодержащих пенообразователей. К сожалению, мы не знаем, какие вещества и в каком количестве могут образовываться в зоне пожара с участием таких огнетушащих составов. Попытки задать такие вопросы производителю — фирме “3М”, компании “Тусо” или их европейским дилерам оказались тщетными. Это подозрительно тем более, что задействованы были даже неформальные приятельские контакты.

В духе той же подозрительности многие опасаются фторсодержащих пенообразователей. Здесь

3M™ Novec™ 1230 Fire Protection Fluid
Environmental Properties

Properties	Novec 1230	Halon 1211	Halon 1301	HFC-125	HFC-227ea	HFC-236fa
Ozone Depletion Potential (ODP)	0.0	5.1	12.0	0.0	0.0	0.0
Global Warming Potential-IPCC 2001	1	1300	6900	3400	3500	9400
Atmospheric Lifetime (Years)	0.014	11	65	29	33	220
SNAP (Yes/No)	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes

Рис. 4. Экологическая безопасность Novec 1230

уместно обратиться к результатам исследований (точнее испытаний), проведенных службой охраны рыб и диких животных США [10].

Обычно заявление о безопасности пенообразователей заключается в том, что законы по защите окружающей среды не регулируют ПДК растворителей или поверхностно-активных веществ, не причиняющих вред окружающей среде.

Для оценки экологического или биологического вреда либо угрозы такого вреда американцы используют понятие “водная токсичность” — показатель сравнительной токсичности химического раствора или водной смеси. Она определяется с помощью набора исследований, которые показывают критическую (краткосрочную) или постоянную (долгосрочную) токсичность. Шкала оценки критической токсичности, применяемой службой охраны рыб и диких животных США, приведена в табл. 2.

Для того чтобы напрямую сравнить токсичность разных пенообразователей, были проведены испытания на фактическую токсичность шести концентрированных пенообразователей для двух видов водных животных — радужной форели и пескаря (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что смачиватели и пенообразователи, не содержащие фтор, обладают большей фактической токсичностью, чем пенообразователи

Таблица 2. Шкала оценки критической токсичности

Относительная токсичность	Водная летальная концентрация LC_{50} , мг/л
Чрезвычайно токсично	< 0,01
Крайне токсично	0,01–0,1
Высокотоксично	0,1–1
Среднетоксично	1–10
Слаботоксично	10–100
Практически нетоксично	100–1000
Относительно безвредно	>1000

Таблица 3. Результаты испытаний для радужной форели и пескаря (96 ч)

Вещество	Летальная концентрация LC_{50} , мг/л	
	для форели	для пескаря
Смачиватель	1,06	0,887
Пенообразователь без фтора А	65	171
Пенообразователь без фтора Б	71	171
Milspec AFFF	2176	884
AR AFFF	3536	1487
UL AFFF	5657	1726

AFFF, несмотря на рекламные заявления об обратном. Составы AFFF содержат фторированные ПАВ, которые обладают положительным коэффициентом растекания и создают условия для образования пленки на поверхности горящего вещества. Именно это качество делает пенообразователи AFFF высокоэффективными. Пенообразователи, не содержащие фторированных ПАВ, обычно содержат более высокие концентрации углеводородных ПАВ и растворителей, с тем чтобы возместить отсутствие пленкообразования увеличением устойчивости пенной структуры в условиях пожара, в частности при контакте с жидкими горючими веществами. Углеводородные ПАВ и растворители изначально более токсичны для водных систем, чем фторированные. Это подтверждают результаты испытаний, хотя собственно химический состав использованных веществ остается для нас неизвестен.

Кто-то из великих сказал, что все науки делятся на две группы — физику и коллекционирование марок. В данном случае мы имеем коллекциониро-

вание марок в чистом виде. Хотя именно с этого начинаются все серьезные исследования.

Выводы

1. В нашей стране отсутствуют результаты серьезных исследований по вредному воздействию пожаров и огнетушащих веществ, включая пенообразователи, на природные экосистемы.
2. Следствием предыдущего вывода является повсеместное голословное декларирование “биоразлагаемости” пенообразователей в условиях отсутствия методик контроля реального вреда экологии, наносимого сбросом пенообразователей в сточные воды.
3. Отсутствует оценка вклада вредного воздействия огнетушащих веществ в суммарное загрязнение окружающей среды в результате всей деятельности людей. Однако сравнение объемов промышленного производства огнетушащих веществ с объемами других производств свидетельствует о минимальной величине этого вклада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (с изм. от 28.09.2007 г.). — Введ. 15.06.2003 г. — М. : Минздрав России, 2003. — 152 с.
2. Правила охраны поверхностных вод (типовые положения) : утв. Госкомприроды СССР 21.02.1991 г.; введ. 01.03.1991 г. URL : <http://www.bestpravo.ru/sssr/gn-postanovlenija/h6b.htm> (дата обращения: 10.04.2013 г.).
3. Безопасность жизнедеятельности : учебник / Под ред. Э. А. Арустамова. — 10-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во “Дашков и К”, 2006. — 476 с.
4. Сайт Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю. URL : <http://24.rospotrebnadzor.ru/directions/InfAn-Mat/59612> (дата обращения: 10.04.2013 г.).
5. Материалы ФГУ “ТФИ по Пермской области” и ОГУ “Аналитический центр”. URL : http://www.permecology.ru/report2005/GI_12.html (дата обращения: 10.04.2013 г.).
6. Годовой отчет ОАО “ИВХИМПРОМ” за 2010 г. URL : <http://www.ivchimprom.com/official.html> (дата обращения: 10.04.2013 г.).
7. Анализ рынка синтетических моющих средств в России в 2006–2010 гг., прогноз на 2011–2015 гг. — BusinesStat, 2011. — 81 с. URL : <http://marketing.rbc.ru/research/562949981983600.shtml> (дата обращения: 10.04.2013 г.).
8. ГОСТ Р 50595–93. Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде. — Введ. 01.01.1995 г. — М. : Изд-во стандартов, 1994. — 42 с.
9. Бочаров В. В. Биоразлагаемость — ведущий показатель экологической безопасности пенообразователей // Материалы XXII Международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы пожарной безопасности”. — М. : ВНИИПО, 2010. — Ч. 2.
10. Test report comparing some of the FF foams with AFFF foams / John Olav Ottesen. — Sweden, Dafo Fomtec AB, 2008.
11. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров : рекомендации. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2007. — 60 с.

Материал поступил в редакцию 14 апреля 2013 г.

**ВОПРОС:**

Будут ли выполняться условия пожарной безопасности в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей при прокладке открытым способом кабельных изделий, не распространяющих горение (например, кабель марки ВВГ-нг), в соответствии со ст. 82 п. 8 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федер. закон № 123-ФЗ)?

ОТВЕТ:

Основными условиями обеспечения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей являются: предотвращение распространения пламени по кабельным изделиям, ограничение их дымообразующей способности и снижение показателя токсичности продуктов горения.

С точки зрения сохранения жизни и здоровья людей важно отметить, что при эвакуации их из здания открытое пламя менее опасно для человека, нежели продукты горения. Как правило, гибель людей происходит из-за удушья угарным газом или отравления токсичными продуктами горения. Поэтому для зданий и сооружений с массовым пребыванием людей необходимо предусматривать кабельные изделия, не распространяющие горение (индекс “нг”), или с пониженным дымо- и газовыделением (индекс “LS”), или с низкой токсичностью продуктов горения (индекс “LTx”).

Требования пожарной безопасности к указанным выше кабельным изделиям изложены в ГОСТ Р 53315–2009 [1]. В отличие от ГОСТ Р [1] “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [2] вводит ограничение на кабельную продукцию только по распространению пламени и не учитывает человеческий фактор, что является серьезным упущением в данном нормативном документе.

**ВОПРОС:**

Как изменилась обстановка с пожарами в России, возникающими из-за неисправностей или неправильной эксплуатации электроустановок, за 2011–2012 годы?

ОТВЕТ:

Общее число пожаров с 2011 по 2012 гг. в нашей стране снизилось со 168 528 до 162 975. При этом проблема обеспечения пожарной безопасности электроустановок продолжает оставаться актуальной. На фоне снижения общего количества пожаров происходит постепенное увеличение

числа пожаров из-за неисправностей или неправильной эксплуатации электроизделий. Так, в 2011 г. оно составило 44 022, а в 2012 г. — 44 822 пожара.

Из 18 наименований электроизделий на провода и кабели приходится более 67 % пожаров. В 2011 г. кабельная продукция стала причиной возникновения 29 161 пожара, а в 2012 г. их число увеличилось до 30 429.

Такой заметный рост количества пожаров обусловлен появлением большого числа частных проектно-монтажных компаний, которые для получения высокой прибыли стараются уменьшить затраты на закупку электротехнической продукции. В процессе поиска наиболее дешевых поставщиков компании зачастую приобретают и закладывают в проекты кабельные изделия с заниженными показателями пожаробезопасности. Это объясняется ценами на кабельную продукцию. Например, если 1 км кабеля марки ВВГ стоит 18 тыс. руб., то аналогичный кабель марки ВВГнг (не распространяющий горение) стоит уже 20 тыс. руб., а кабель ВВГнг-LS (с пониженным газо- и дымовыделением) будет стоить 28 тыс. руб.

Следует также отметить, что большую роль в возникновении пожаров играет качество электротехнической продукции, особенно той, которая поставляется на российский рынок зарубежными странами. В последнее время участились случаи поставки некачественных электроизделий, которые стали причиной снижения надежности работы электросетей в связи с отказами и серьезными авариями на объектах энергетики.

Таким образом, снижение числа пожаров от электроустановок является важной задачей, стоящей перед специалистами в области обеспечения пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 53315–2009. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности (с изм. № 1 от 30.06.2011 г.). — Введ. 30.04.2009 г. — М. : Стандартиформ, 2009.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 10.07.2012 г.) : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.

Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ В. Н. ЧЕРКАСОВ; старший преподаватель А. С. ХАРАМЕНКОВ.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными, в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и транслитерация). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences, Prospekt Vernadskogo, 101, 119526 Moscow, Russian Federation.

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

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

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

■ содержательным (должно излагать существенные факты и результаты работы и не должно преувеличивать или включать материал, который отсутствует в основной части публикации);

■ структурированным (следовать логике описания результатов в публикации);

■ “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);

■ объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

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

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

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

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

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

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

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

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

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii "stal"—kompozit [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MG TU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem"* [Proc. of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

GOST 8.586.5–2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkosti i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv* [State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>, а также программные средства для их формирования.

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

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

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

8. Плата с аспирантов за публикацию работ не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

ВЫСТАВКИ ТЕХНОЛОГИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



СибБезопасность

Международная выставка «Охрана и пожарная безопасность»

Антитеррор: комплексная безопасность

Конференция-выставка

25 – 27 сентября 2013 года

Россия, Новосибирск



ITE Сибирская Ярмарка
Телефон: (383) 363-00-63, 363-00-36
sips@sibfair.ru

Место проведения
«Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет на сайте
www.sips-siberia.ru

Генеральный информационный партнер

PROSYSTEM

При поддержке:



Правительство
Новосибирской области



Администрация
Новосибирска



Сибирский
региональный центр
МЧС России



Главное управление
МЧС России по
Новосибирской области



Управление Федеральной
службы безопасности
по Новосибирской области



Главное Управление
МВД России по
Новосибирской области



Управление на транспорте
МВД России по Сибирскому
Федеральному округу



Сибирское территориальное
управление Федерального
агентства железнодорожного
транспорта



УГАН МОТБ СФО
Ространснадзор

РЕКЛАМА

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена — 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена — 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена — 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена — 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена — 540 руб.
- 6 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена — 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена — 450 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена — 250 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена — 350 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена — 300 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена — 540 руб.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 13 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена — 140 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена — 240 руб.
- 15 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена — 450 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена — 300 руб.
- 17 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена — 470 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена — 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена — 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена — 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена — 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена — 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

■ В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:

- 1) название организации полностью;
- 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
- 3) наименование и количество заказываемой литературы;
- 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
- 5) способ доставки: самовывоз или почтовая.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Ю. И. ГОРБАНЬ

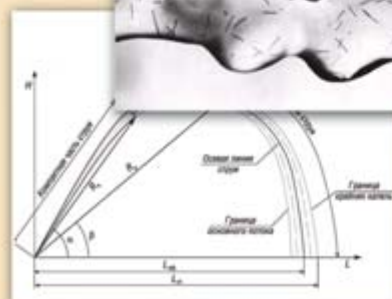
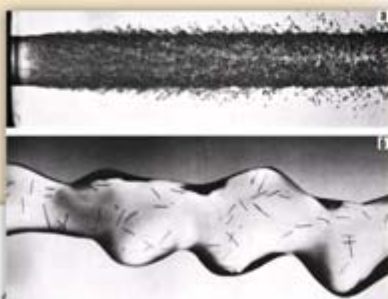
**ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТОЛЬНАЯ ТЕХНИКА
В ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКЕ И ПОЖАРНОЙ ОХРАНЕ**

М.: Пожнаука, 2013. - 352 с.

- ♦ Для специалистов в области пожарной автоматики и пожарной охраны.
- ♦ В книге представлены новые технологии пожаротушения с применением пожарных роботов, выполненных на базе современной ствольной пожарной техники. Показано, как создавались пожарные роботы в России, как совершенствовалась их конструкция, как они применялись в техногенных катастрофах и как они защищают объекты различного назначения.
- ♦ Рассмотрены основные понятия по гидравлике в пожарном деле и баллистике струй, а также по огнеопасным материалам и огнетушащим веществам, применяемым в ствольной технике.
- ♦ Дана подробная информация по применению роботизированных установок пожаротушения и пожарных стволов для защиты пожароопасных объектов, включая сведения, необходимые для проектировщиков и конструкторов.



РЕКЛАМА



СОДЕРЖАНИЕ:

- Часть 1. От первого пожарного робота до Завода пожарных роботов
- Часть 2. Гидравлика в пожарном деле
- Часть 3. Баллистика струй
- Часть 4. «Jet Fog» - летающие и распыленные огнетушащие вещества
- Часть 5. Пожароопасность и пожаробезопасность в расчетах пожарной автоматики
- Часть 6. Ручные пожарные стволы
- Часть 7. Пожарные лафетные стволы
- Часть 8. Пожарная робототехника
- Часть 9. Защита объектов лафетными стволами
- Часть 10. Защита объектов с применением роботизированных пожарных комплексов

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ КНИГИ ОБРАЩАЙТЕСЬ:

ЗАО „Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”

185031, г. Петрозаводск, ул.Заводская, д. 4

Тел./факс: (8142) 57-11-27, 77-49-23

e-mail: office@firerobots.ru, <http://www.firerobots.ru>

Представительство ЗАО „Инженерный центр „ЭФЭР” в г. Москве:

143956, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Никольско-Архангельский,

Разинское ш., д. 5, бизнес-центр “Вешняки”, офис 204

Т./ф.: +7(498) 665-75-35, моб.т. +7(916) 652-70-78

ООО „Издательство „Пожнаука”

Тел: (495) 228-09-03

e-mail: mail@firepress.ru, <http://www.firepress.ru>

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-е полугодие 2013 г.

Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал

ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по 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”



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭТАЛОН БЕЗОПАСНОСТИ»
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ДЕНЬ МОНТАЖНИКА И ПРОЕКТИРОВЩИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ БОЛЬШОГО ГОРОДА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НЕВСКИЙ ДИАЛОГ

Здесь определяется вектор безопасности

**12-15
НОЯБРЯ
2013**

Место проведения:
Санкт-Петербург, Ленэкспо



Sfitex

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

IS.CS

4-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ИНФОРМАЦИЯ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ
22-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Получите электронный
билет на сайте:

www.sfitex.ru

Организатор:



primexpo



+7 (812) 380 6009/00, SECURITY@PRIMEXPO.RU

Генеральный
интернет партнер:



консультант
в организации

Медиа-партнер:



Информационная
поддержка:

