

6-2014

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

АНАЛИЗ РИСКА
ПОЖАРА В ЗАМКЕ
КРАСНАЯ ГОРКА



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



I Международная выставка и конференция

НЕФТЬ И ГАЗ БОЛЬШОГО УРАЛА

9-12 сентября / Екатеринбург

Уважаемые Господа!

Рады пригласить Вашу компанию к участию

ПОЧЕМУ ЕКАТЕРИНБУРГ

Екатеринбург — столица Уральского федерального округа, который является местом сосредоточения крупнейших нефтяных и газовых месторождений, относящихся к Западносибирской нефтегазоносной провинции, в которой сконцентрировано 66,7% отечественных запасов нефти (6%-мировых) и 77,8% запасов газа (26%-мировых).

Согласно Энергетической Стратегии Министерства Энергетики РФ к «2030 году Уральский федеральный округ сохранит за собой позиции главного нефте- и газодобывающего района России, поставляющего энергоносители в энергодефицитные районы страны и на экспорт. Возрастет энергоэффективность экономики региона, будут использованы экологически безопасные и эффективные способы добычи и производства энергоресурсов в сложных природно-климатических условиях».

ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕФТЬ И ГАЗ БОЛЬШОГО УРАЛА» ЭТО:

- Профессиональная площадка, предоставляющая технические возможности для демонстрации новейших технологических решений и продукции
- Практическая диалоговая площадка для всех участников нефтегазового рынка региона, позволяющая специалистам ознакомиться с новейшим оборудованием и технологиями, обменяться актуальными мнениями и информацией
- Максимальное отражение тенденций развития нефтегазовой отрасли региона
- Насыщенная программа специализированных научно-технологических круглых столов и тематических семинаров
- **Конференция – место встречи руководителей высшего звена: представителей власти, первых руководителей добывающих компаний, руководителей компаний-поставщиков оборудования и сервисных компаний.**

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Геологоразведка
- Бурение разведочных и эксплуатационных скважин
- Добыча и переработка нефти и газа
- Нефтегазовое оборудование
- Транспортировка, хранение и сбыт нефти, нефтепродуктов и газа, другие транспортные услуги, логистика
- Геофизические услуги
- Новейшие технологии в сфере геологоразведки и добычи
- Нефтегазохимия
- Сервисное обслуживание на нефтегазовых месторождениях
- Средства промышленной и индивидуальной защиты, программное обеспечение
- Строительные работы
- Инжиниринг и консалтинг
- Экологические природоохранные услуги
- Проектные исследования, проектирование
- Трубопроводы и трубы

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ:

- Международная технологическая конференция «Нефть и Газ Большого Урала»
- Отраслевой всероссийский конкурс им. Ф.С. Прядунова на звание «Лучшего в нефти и газе РФ»
- «Ярмарка вакансий» для молодых специалистов и опытных профессионалов отрасли

Выставочный Комплекс «Екатеринбург-Экспо»

www.uoge.ru E-mail: info@uoge.ru

Тел.: (343) 381-00-25

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Интервью с Юрием Ивановичем ГОРБАНИМ, генеральным директором, главным конструктором ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР” — коллективного члена Национальной академии наук пожарной безопасности

Interview with Yuri Ivanovich GORBAN, General Director, Chief Designer of JSC “Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” — member society of National Academy of Fire Science

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

АЛЕХИН Е. М., БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., СОКОЛОВ С. В.
О распределении Эрланга и некоторых его приложениях

ALEKHIN E. M., BRUSHLINSKIY N. N., SOKOLOV S. V.
About Erlang's distribution and some its applications

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ЖДАНОВА А. О., КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Численное исследование испарения пленки воды на поверхности лесного горючего материала

ZHDANOVA A. O., KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Numerical investigation of water film evaporation on the surface off forest fuel

ПУЗАЧ С. В., ЛЕБЕДЧЕНКО О. С., БОЛДЫРЕВ Е. Н.
Коэффициенты участия водорода в горении и взрыве при ламинарной и турбулентной конвекции на горизонтальной пластине

PUZACH S. V., LEBEDCHENKO O. S., BOLDYREV E. N.
Coefficients of hydrogen combustion and explosion in case of laminar and turbulent convection on a horizontal plate

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

ТРУШКИН Д. В.

TRUSHKIN D. V.

Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение воспламеняемости, дымообразующей способности, способности к распространению пламени по поверхности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов

Problems of classification of construction materials on fire hazard. Part 2. Comparative analysis of experimental methods for fire hazard assessment of construction materials, accepted in Russia and the European Union countries. Determination of combustibility, flammability, flame spread, smoke production and toxicity of products of burning for construction materials

АЛЕКСЕЕВ С. Г., МАВЛЮТОВА Л. К., КОШЕЛЕВ А. Ю., АЛЕКСЕЕВ К. С., БАРБИН Н. М.
Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XII. Алкилбензолы и диалкилбензолы

ALEXEEV S. G., MAVLYUTOVA L. K., KOSHELEV A. Yu., ALEXEEV K. S., BARBIN N. M.
Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XII. Alkyl benzenes and dialkyl benzenes

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ЕСИН В. М., КАЛМЫКОВ С. П.
Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий

ESIN V. M., KALMYKOV S. P.
Comparison of method of calculation of demanded parameters of ventilating systems of smoke control of multistoried buildings

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ИСТРАТОВ Р. Н.
Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений

ISTRATOV R. N.
Study on rescue possibilities of immobile people from medical and social institutions in case of fire

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

ТОМАШКОВА М.
Анализ риска пожара в замке Красная Горка

TOMASHKOVA M.
Risk analysis of fire in the Krasna Horka castle

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

FIRE AUTOMATIC

СОКОЛОВ С. В., КОСТЮЧЕНКО Д. В.
Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах

SOKOLOV S. V., KOSTYUCHENKO D. V.
Effectiveness of fire automatics on fires in homes

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ШАРОВАРНИКОВ С. А., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ЛЯПИН А. В.
Тушение многокомпонентных смесевых топлив фтор-синтетическими пенообразователями подслоинным способом

SHAROVARNIKOV S. A., KOROL'CHENKO D. A., LYAPIN A. V.
Extinguishing of the multicomponent composite fuels by aqueous film forming foam by sublayer way

КОРНИЛОВ А. А., БОРОДИН А. А., БАРБИН Н. М., ЗЫКОВ П. И., ХУЖАЕВ А. Т.
Исследование оптимальных схем подачи инертного газа при флегматизации горизонтальных резервуаров

KORNILOV A. A., BORODIN A. A., BARBIN N. M., ZYKOV P. I., KHUZHAEV A. T.
Examination of the optimum scheme of supply of inert gas at phlegmatization of horizontal tanks

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

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

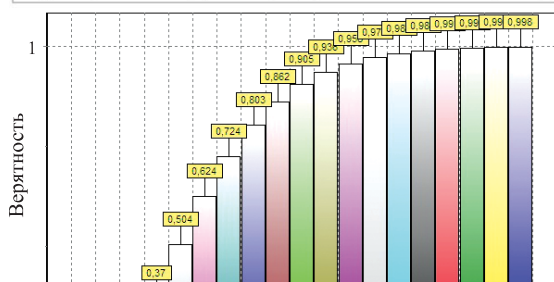
Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются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



Интервью с Ю. И. Горбанем (ЗАО "ЭФЭР")

Распределения Эрланга для заданных параметров:

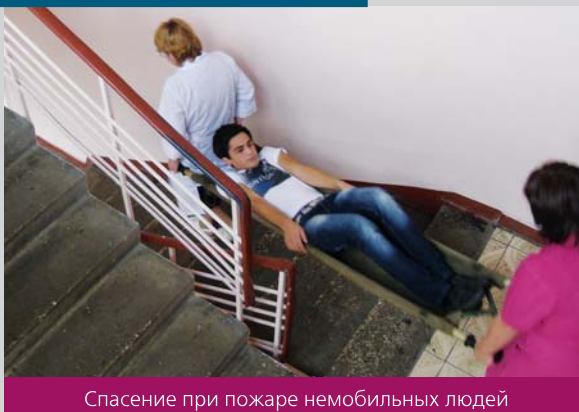
$r=3$ Среднее (мин) $\tau=6.5$ Интервал (мин) $\Delta=1$ $\sigma=3.25$ $T_{max}=20$



О распределении Эрланга и некоторых его приложениях

Стр. 6

Стр. 11



Спасение при пожаре немобильных людей

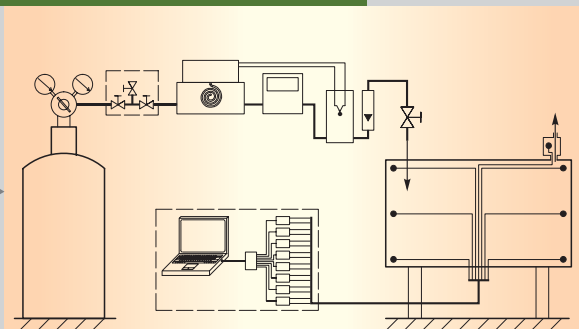
Стр. 54



Анализ риска пожара в замке Красная Горка

Стр. 64

Стр. 81



Система флегматизации инертным газом резервуаров

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

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

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

Подписано в печать 09.06.2014. Выход в свет 25.06.2014.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "Эрудит"

(127051, Россия, г. Москва, Бульвар Петровский, д. 3, стр. 2).

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

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

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

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

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

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

"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 09.06.2014

Date of publication 25.06.2014

Format is 60x84 1/8

Printing is 5 000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko A. Ya.,

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

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Baratov A. N.,

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

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

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

Gorban Yu. I.,

General Director – Chief Designer (Russia)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korol'chenko D. A.,

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

Leybman M. Ye.,

Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

Merkulov V. A.,

Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,

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

Roytman V. M.,

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

Senin N. I.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Serkov B. B.,

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

Puzach C. V.,

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

Tamrazyan A. G.,

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

Telichenko V. I.,

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

Topolskiy N. G.,

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

Tychino N. A.,

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

Kholshchevnikov V. V.,

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

Shebeko Yu. N.,

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

Thomas Jim Shields,

Professor (Great Britain)



Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

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

ГЕФЕСТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

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

ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”

185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская, д. 4
Тел./факс: (8142) 77-49-31, 57-34-23
e-mail: marketing@firerobots.ru; www.firerobots.ru



ИНТЕРВЬЮ с ЮРИЕМ ИВАНОВИЧЕМ ГОРБАНИМ, генеральным директором, главным конструктором ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР” — коллективного члена Национальной академии наук пожарной безопасности

Как появилась идея создания ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”?

Свою историю наша компания ведет с 18 июня 1984 года — даты создания первого пожарного робота в России, который заступил на постоянное дежурство для защиты памятника деревянного зодчества на острове Кижи. Этому событию предшествовал ряд обстоятельств, которые привели к необходимости создания именно этого устройства для защиты памятников деревянного зодчества.

В 70-х годах перед государством встала серьезнейшая проблема по защите архитектурного ансамбля Кижского погоста от актов вандализма, от возможных загораний, связанных со стихией, в частности с ударами молний. Печальным примером беззащитности памятников деревянного зодчества перед раз-

гулом огненной стихии стала утрата 25-главого деревянного собора в селе Анхимово Вологодской области, который сгорел из-за небольшого костра, разведенного неподалеку.

Проблемой защиты Кижей в те годы занимался Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МВД СССР. Для противопожарной защиты Преображенской церкви был разработан проект спринклерной системы пожаротушения. Однако против него категорически выступили дирекция музея “Кижи”, институт “Спецпроектреставрация” и Министерство культуры Карелии: изрезанные спринклерами купола, километры железных труб с бесчисленным количеством соединений внутри церкви совершенно не соответствовали принципам, заложенным в строительстве этого деревянного храма, возведенного без единого гвоздя и не приемлющего железа. Мнение было единым: нужна другая защита, так как предлагаемая система защиты погубит памятник значительно раньше, чем другие беды. В связи с этим было найдено новое решение, основанное на применении для защиты архитектурного комплекса Кижи дистанционно управляемых лафетных стволов, которое было принято единогласно. Для решения этой задачи была сформирована целевая группа специалистов. Они разработали и изготовили опытный образец пожарного робота, который действовал в автоматическом программном режиме и мог управляться на расстоянии с помощью телевизионной камеры. Это событие и стало своеобразной точкой отсчета в разработке нового направления техники борьбы с пожарами. Тот день считается официальной датой создания первого пожарного робота и началом работ по пожарной робототехнике в нашей стране. Тогда же в Петрозаводске была организована Лаборатория пожарных роботов, работавшая в тесном контакте с ВНИИПО МВД СССР (г. Моск-



Преображенская церковь на о-ве Кижи

ва), которая впоследствии была преобразована в Инженерный центр “ЭФЭР”.

Известно, что пожарные роботы применялись и для ликвидации последствий печально известной всем Чернобыльской катастрофы. Какие задачи стояли перед ними?

Да, когда случилась Чернобыльская авария, первый пожарный робот и еще два аналогичных изделия, экстренно изготовленных по телеграмме министра МВД СССР А. В. Власова, были направлены в Чернобыль. Там они использовались для очистки значительной части кровли на отметке 70 м от радиоактивных обломков, что позволило сберечь здоровье многих солдат химических войск, которым такую работу приходилось до этого выполнять вручную.

Из опыта ликвидации Чернобыльской аварии стало ясно, что необходимо срочно менять систему пожарной защиты в опасных зонах. Позднее в Госкомитете по атомной энергии было принято решение о создании роботизированных установок пожаротушения для АЭС, способных заменить пожарных ствольщиков в опасных зонах. Такой комплекс был создан на Ленинградской АЭС, однако в 90-е годы эти работы были свернуты. Тем не менее удалось сохранить уникальную научно-техническую базу и специалистов. В дальнейшем работы в этом направлении были не только не прекращены, но и расширены, а лаборатория пожарных роботов преобразовалась в Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”.

Расскажите, пожалуйста, были ли переломные моменты в развитии компании, в ее становлении?

Да, сложный период был в 90-е годы XX века, когда технический арсенал пожарной техники в России почти не пополнялся. Да и что можно было сделать на маломощной производственной базе, разбросанной по странам СНГ? В некоторых отраслях промышленности в то время пожарная охрана стала комплектоваться разнокалиберной импортной техникой из разных стран. Положение усугублялось тем, что отечественная ствольная техника была на уровне разработок первых послевоенных лет, имела низкую эффективность, связанную собственно с устаревшим способом подачи воды на тушение, когда сплошная монолитная струя “проваливалась” в пламя. В связи с этим вода подавалась в чрезмерном количестве, что приводило к негативным последствиям пожаротушения. К этому времени пожарные других стран уже успешно применяли универсальные пожарные стволы с распыленными струями. Имея опыт применения таких стволов в составе пожарных роботов и учитывая потребность в этих изделиях в стране, на предприятии поставили задачу разработать отечественную современную ствольную пожарную технику по российским стандартам с организацией ее серийно-

го выпуска на специализированном заводе. Разработка новых изделий велась в течение ряда лет с проведением всесторонних испытаний и сертификации изделий. Работы проводились при тесном взаимодействии с ВНИИПО МЧС России, в частности с отделом 2.1 под руководством канд. техн. наук Е. А. Синельниковой.

А что было самое сложное в развитии компании?

Самое сложное — это значительное отставание существующих норм от достижений техники.

Помните Вашего первого клиента и первый заказ?

Да, конечно, это дирекция музея Кижы, с которыми у нас до сих пор теплые отношения. В этом году исполняется 30 лет со дня создания первого пожарного робота, и мы опять вместе.

Какие сегодня направления деятельности развивает компания?

В настоящее время ЭФЭР занимает лидирующее место в России и других странах СНГ по разработке и производству пожарных роботов и пожарных стволов нового поколения по утвержденным ГОСТам. В ЭФЭР накоплен определенный опыт по работе с крупными объектами, используются свои собственные технологии — ноу-хау, запатентовано множество оригинальных технических решений.

Завод пожарных роботов оснащен современной технологией производства, система менеджмента качества сертифицирована на соответствие ИСО 9001:2008. Наша продукция имеет сертификаты системы государственных стандартов и соответствует требованиям морского регистра и взрывозащиты.

Для защиты пожаро- и взрывоопасных объектов ЭФЭР разрабатывает проекты автоматического пожаротушения с применением пожарных роботов,



Главный пролет механообрабатывающего цеха Завода пожарных роботов



Работа на станке с ЧПУ

пожарной сигнализации и теленаблюдения. Роботизированные установки пожаротушения обеспечивают автоматическую пожарную сигнализацию в зоне защиты, определяют координаты очага пожара и проводят в автоматическом режиме его тушение распыленной водой или пеной. Одна установка защищает от пожара 5–15 тыс. м² охраняемой площади.

Продукция ЗАО «ЭФЭР» широко применяется в комплексных системах противопожарной защиты крупных промышленных зданий и сооружений, на объектах нефтегазовой промышленности, а также на передвижной пожарной технике: пожарных автомобилях, пожарных танках, пожарных катерах. Роботизированные установки пожаротушения особенно востребованы для высокопролетных зданий и сооружений больших площадей, к которым относятся спортивные, выставочные и торговые комплексы с массовым пребыванием людей, киноконцертные залы, машинные залы ТЭЦ и АЭС, ангары для самолетов.

За последние годы установки пожаротушения ЭФЭР внедрены на таких объектах, как Морской спе-

циализированный порт «Витино» (г. Кандалакша), Балтийская трубопроводная система (г. Приморск), нефтяные терминалы по проекту «Сахалин-1» (о-в Сахалин), нефтяные терминалы «Лукойл-2» (г. Высоцк), ангары для самолетов в Шереметьево-1, во Внуково (ВИП-ангар), киноконцертный зал ВК «Крокус» (г. Москва), спортивный комплекс Академии МЧС (пос. Новогорск) и др.

Что, по Вашему мнению, повлияло на успешное развитие предприятия?

В своей работе мы ориентируемся на постоянную научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность. Тесное сотрудничество с ВНИИПО МЧС России, с основными заводами пожарных машин, совместная работа с заказчиками из различных отраслей деятельности — все это позволяет нам удовлетворять всевозможные запросы потребителей при создании новых образцов техники и совершенствовании уже выпускаемой продукции.

Какими достижениями вы особенно гордитесь?

За годы работы мы выполнили одну из серьезных задач, стоящих перед нами. При нашем непосредственном участии роботизированные установки пожаротушения стали неотъемлемой частью пожарной автоматики. Россия является первой страной мира, где законодательно и нормативно введен новый вид автоматических установок пожаротушения (АУП) — роботизированные установки пожаротушения (РУП). Они включены в Федеральный закон России № 123-ФЗ, в свод правил по проектированию установок пожаротушения СП 5.13130.2009 и в ГОСТ Р 53326–2009.

Расскажите об инновационном продукте — пожарных роботах.

Основным оружием пожарных являются пожарные стволы, с которыми огнеборцы врукопашную всту-



Сергей Шойгу знакомится с изделиями ЗАО «Инженерный центр «ЭФЭР». День инноваций в системе МЧС России, г. Балашиха, 2011 год



Пожарный робот серии «андроид»



Пожарный робот во взрывозащищенном исполнении

паяют в борьбу с огненной стихией. Это работа в опасной зоне с высокой тепловой радиацией, возможностью разрушения конструкций и взрывных выбросов пламени, нахождение человека в которой связано с высоким риском для жизни. В этих экстремальных условиях на помощь людям приходят “железные огнеборцы” — пожарные роботы.

Пожарный робот во многом соответствует мечтам пожарных о борьбе с огнем: он круглосуточно следит за доверенной ему зоной защиты и при загорании быстро и точно направляет на очаг огня мощный заряд воды или пены. Возможность пожарного робота, с одной стороны, замещать человека в экстремальных условиях, а с другой — взаимодействовать с ним позволяет наиболее эффективно и с высокой степенью безопасности осуществлять тушение пожаров.



Пожарный робот орошает перекрытия машинного зала ТЭЦ

Высокое быстродействие, адресная доставка огнетушащего вещества (ОВТ), высокая концентрация ОВТ на локальном участке возгорания, гибкая система управления, самотестирование — вот далеко не полный перечень технических показателей пожарных роботов, которые значительно расширяют технические возможности пожарной автоматики и повышают надежность защиты объектов в целом.

В настоящее время пожарные роботы и новые технологии пожаротушения на их основе применяют-

ся практически во всех отраслях деятельности человека, сопряженных с пожарной опасностью.

Что Вам приносит наибольшее удовольствие в работе? В чем черпаете силы?

Успешная реализация инженерного замысла, изобретения. Именно это приносит положительные эмоции и придает новые силы.

Расскажите о структуре предприятия и его коллективе.

Сегодня Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР” включает в себя:

- конструкторское бюро, электротехнический отдел и отдел программного обеспечения;
- проектный отдел;
- испытательный комплекс, включающий в себя испытательный полигон и участок опытно-экспериментального производства;
- завод пожарных роботов и ствольной техники.

Совершенствование продукции и разработка новых изделий на предприятии осуществляются конструкторским бюро комплексно: по механике, гидравлике, электронике и программированию, в том числе постоянно ведется научно-исследовательская и опытно-конструкторская деятельность.

На предприятии работают специалисты, не только имеющие большой опыт работы, но и недавно закончившие вуз. Таким образом, имеется возможность поделиться опытом, что способствует профессиональному росту кадров. Есть также договорные отношения с IT-центром Петрозаводского государственного университета, что позволяет готовить кадры для себя, а студентам дает возможность познакомиться с нашей работой и пройти практику в центре.

В 2014 году ведущие специалисты нашего предприятия были удостоены премии НАНПБ за комплекс работ по роботизированным системам пожаротушения в номинации НИОКР.

Каковы дальнейшие планы компании?

В связи со вступлением России в ВТО появилась необходимость в защите нашей продукции. Это, в первую очередь, получение европатентов, поскольку российских патентов недостаточно, а также сертификация с маркировкой CE. Если говорить о новой технике, то это выпуск андроидных пожарных роботов и роботов на платформах.

Что Вы пожелаете сотрудникам и заказчикам?

Прежде всего желаю творческих успехов. Ну и не работать в экстремальных условиях — пусть этим занимаются роботы!

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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



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

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

Е. М. АЛЕХИН, канд. техн. наук, начальник отдела Научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: k-post1@yandex.ru)

Н. Н. БРУШЛИНСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: nbrus1934@yandex.ru)

С. В. СОКОЛОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: albrus-ssv1@yandex.ru)

УДК 614.842.661

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЭРЛАНГА И НЕКОТОРЫХ ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯХ

Рассмотрены вопросы моделирования временных характеристик оперативной деятельности противопожарной службы с помощью распределения Эрланга. Показано, что все временные характеристики являются случайными непрерывными величинами, поэтому изучать их нужно вероятностно-статистическими методами. Выполнен статистический анализ большого массива реальных временных характеристик процесса функционирования противопожарных служб в разных городах и странах мира, который убедительно показал, что они хорошо описываются распределением Эрланга различных порядков и распределение Эрланга, таким образом, можно рассматривать как математическую модель временных характеристик процесса функционирования противопожарных служб городов (и территорий поселений). Проанализированы нормативы по времени прибытия пожарных подразделений, изложенные в "Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности". Показана несостоятельность данных нормативов, так как выполнить их невозможно ни в городах, ни тем более в сельской местности. Авторами предложена своя формулировка нормативов по времени прибытия пожарных подразделений к месту вызова для городов и сельской местности.

Ключевые слова: распределение Эрланга; временные характеристики; моделирование; нормативы.

Распределение Эрланга и его числовые характеристики

Распределением Эрланга* в теории массового обслуживания называют частный случай гамма-распределения (одного из наиболее известных непрерывных распределений в теории вероятностей).

Если непрерывная величина T подчиняется закону Эрланга, то ее функция распределения $F(\tau) = P\{T < \tau\}$ имеет вид [1]:

$$F(\tau) = P\{T < \tau\} = \int_0^{\tau} \mu \left[\frac{(\mu\tau)^r}{r!} \right] e^{-\mu\tau} d\tau = 1 - e^{-\mu\tau} \sum_{k=0}^r \frac{(\mu\tau)^k}{k!}, \quad (1)$$

где r — порядок (ранг) распределения Эрланга ($r = 0, 1, 2, \dots$);

* Эрланг А. К. (1878–1929) — датский математик, статистик и инженер, основатель теории массового обслуживания. Эрланг 20 лет проработал в Копенгагенской телефонной компании. В 1909 г. была опубликована его работа "Теория вероятностей и телефонные разговоры", получившая признание во всем мире.

μ — постоянный параметр этого распределения;
 $\mu = (r + 1)/\tau_{\text{ср}}$;

$\tau_{\text{ср}}$ — среднее значение изучаемой случайной величины T (т. е. мы имеем двухпараметрическое семейство непрерывных распределений).

Для любого числа r имеем:

- математическое ожидание случайной величины T :

$$M(T) = \tau_{\text{ср}} = (r + 1)/\mu; \quad (2)$$

- дисперсию случайной величины T :

$$D(T) = (r + 1)/\mu^2; \quad (3)$$

- среднееквадратическое отклонение случайной величины T :

$$\sigma(T) = (r + 1)^{1/2}/\mu, \quad (4)$$

или (более удобно использовать это выражение)

$$\sigma(T) = \tau_{\text{ср}}/(r + 1)^{1/2}. \quad (4')$$

Плотность распределения Эрланга имеет вид:

$$f(\tau) = F'(\tau) = \mu \left[\frac{(\mu\tau)^r}{r!} \right] e^{-\mu\tau} \quad (\tau \geq 0; r = 0, 1, 2, \dots). \quad (5)$$

При $r = 0$ получаем плотность экспоненциального (показательного) распределения

$$f(\tau) = \mu e^{-\mu\tau} \quad (\tau \geq 0), \quad (6)$$

где $\mu = 1/T_{\text{ср}}$.

Следовательно, показательное распределение является частным случаем распределения Эрланга (т. е. распределением Эрланга нулевого порядка). Из формулы (1) при $r = 0$ получаем функцию распределения случайной величины, подчиняющейся показательному распределению:

$$F(\tau) = P\{T < \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau}. \quad (7)$$

Для случайной величины T , подчиняющейся закону распределения Эрланга r -го порядка, часто приходится вычислять вероятность того, что значение T попадет в какой-либо полуинтервал $[\tau_1, \tau_2]$:

$$P\{\tau_1 \leq T < \tau_2\} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \mu \left[\frac{(\mu\tau)^r}{r!} \right] e^{-\mu\tau} d\tau = e^{-\mu\tau_1} \sum_{k=0}^r \left[\frac{(\mu\tau_1)^k}{k!} \right] - e^{-\mu\tau_2} \sum_{k=0}^r \left[\frac{(\mu\tau_2)^k}{k!} \right]. \quad (8)$$

Выполнять расчеты по формуле (8) “вручную” в большинстве случаев затруднительно, поэтому авторы разработали специальную компьютерную программу, использование которой будет продемонстрировано ниже.

Временные характеристики процесса функционирования противопожарной службы и их математическое описание

Процесс функционирования противопожарной службы (ППС) заключается в обслуживании вызовов, поступающих на диспетчерские пункты, т. е. в последовательности выездов пожарных подразделений к месту вызова и возвращения их к месту дислокации. Для построения математической модели этого

процесса необходимо знать и уметь математически описывать большое число временных характеристик процесса функционирования ППС [1]. Важнейшими из них являются: время следования первого подразделения к месту вызова (т. е. промежуток времени с момента выезда подразделения из депо до его прибытия к месту вызова); общее время занятости подразделения обслуживанием вызова (т. е. промежуток времени с момента выезда до возвращения в депо и постановки подразделения в боевой расчет) [1].

Все временные характеристики являются случайными непрерывными величинами, поэтому изучать их нужно вероятностно-статистическими методами.

Статистический анализ большого массива реальных временных характеристик процесса функционирования ППС в разных городах и странах мира, проведенный авторами, убедительно показал, что они хорошо описываются распределением Эрланга различных порядков [1]. Так, общее время занятости, как правило, подчиняется показательному распределению (т. е. распределению Эрланга нулевого порядка); время следования может быть аппроксимировано распределением Эрланга более высоких порядков (например, в г. Москве время следования лучше всего моделируется распределением Эрланга пятого порядка (рис. 1 и 2)).

Таким образом, распределение Эрланга можно рассматривать как математическую модель временных характеристик процесса функционирования ППС городов (и территорий).

Без вероятностного подхода трудно анализировать нормативы по времени прибытия пожарных подразделений, содержащиеся в “Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности” [2] (далее — Технический регламент).

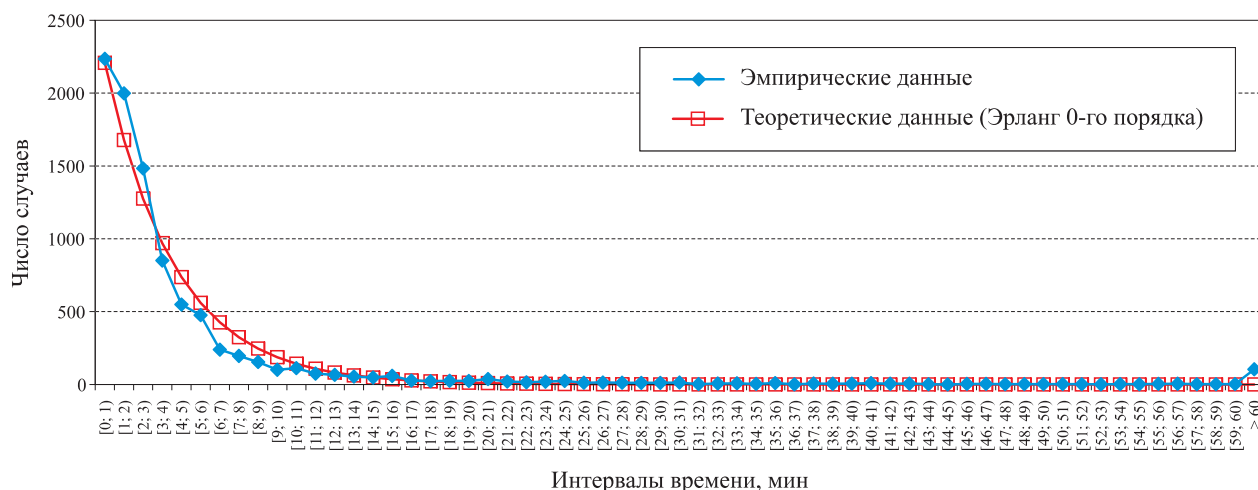


Рис. 1. Эмпирическое и теоретическое распределения времени ликвидации пожара в г. Москве

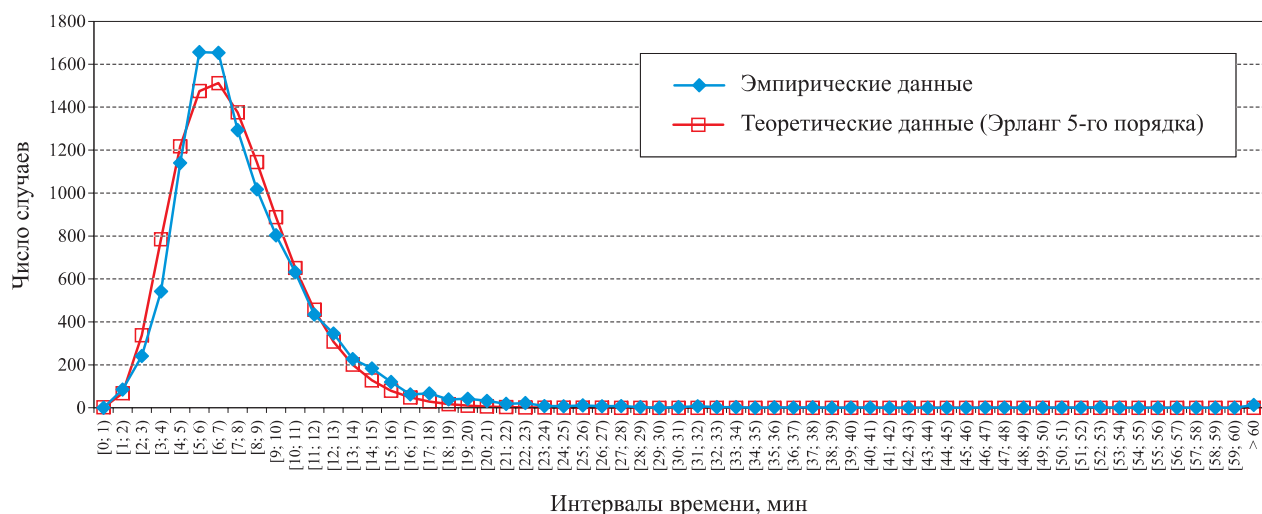


Рис. 2. Эмпирическое и теоретическое распределения времени прибытия первого пожарного подразделения в г. Москве

Анализ нормативов по времени прибытия

В п. 1 ст. 76 Технического регламента [2] говорится: “Дислокация подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяется исходя из условий, что время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не должно превышать 10 мин, а в сельских поселениях — 20 мин”. Эта формулировка заслуживает внимательного анализа, так как на практике она трактуется специалистами весьма произвольно.

Во-первых, в п. 1 ст. 76 [2] речь идет о времени прибытия первого пожарного подразделения ППС к месту вызова. Время прибытия, как известно, складывается из времени сбора личного состава по тревоге и времени следования его к месту вызова. При этом среднее значение времени сбора в городах можно оценить в 1 мин [1].

Во-вторых, в данном пункте нормируется *максимальное* время прибытия к месту вызова. Это значит, что пожарные подразделения в городах должны прибывать к месту вызова не позднее чем через 10 мин с момента поступления вызова в пожарную часть, а в сельской местности — не позднее чем через 20 мин с момента поступления вызова.

Именно в этом месте начинается серьезная путаница в трактовке данного норматива. Проблема, как это ни странно, заключается в том, что специалисты МЧС часто путают понятия *среднего* и *максимального* значений времени прибытия к месту вызова. Поэтому, если в каком-либо городе среднее время прибытия составляет, например, 8–9 мин, то считается, что норматив [2] выполняется, хотя в действительности разброс реальных значений времени прибытия может доходить до 30 мин и более.

Это и будет *максимальное значение* времени прибытия к месту вызова.

Таким образом, необходимо понимать, что максимальное значение, как правило, в несколько раз больше среднего значения изучаемой случайной величины (для ориентира здесь можно воспользоваться расширенным “правилом 3σ”).

В связи с этим, если нормативный документ задает максимальное значение времени прибытия 10 мин, то среднее значение будет составлять 3–4 мин, а это требует пересмотра всех существующих принципов организации ППС в городах и на территориях поселений.

Эту серьезную проблему удобнее всего анализировать с помощью распределения Эрланга.

Математическое моделирование времени прибытия

В статистическом сборнике [3] указано, что в 2012 г. среднее время прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова в городах России составило 6,5 мин, а в сельской местности — 12,2 мин. При этом для сельской местности европейской части России имеем следующие показатели: Псковская обл. — 23,8 мин; Новгородская обл. — 19,1 мин; Вологодская обл. — 17,8 мин; Белгородская обл. — 16,9 мин; Тверская обл. — 16,7 мин; Смоленская обл. — 15,1 мин. К этому списку можно добавить и горную Республику Дагестан, для которой это время составляет 18,8 мин.

Для всех перечисленных субъектов Российской Федерации, а также для городов и сельской местности России с помощью распределения Эрланга (и вышеупомянутой компьютерной программы) легко можно оценить максимальные значения времени прибытия первых пожарных подразделений к месту вызова.

Распределения Эрланга для заданных параметров:

$r=3$ Среднее (мин) $\tau=6.5$ Интервал (мин) $\Delta=1$ $\sigma=3.25$ $T_{\max}=20$

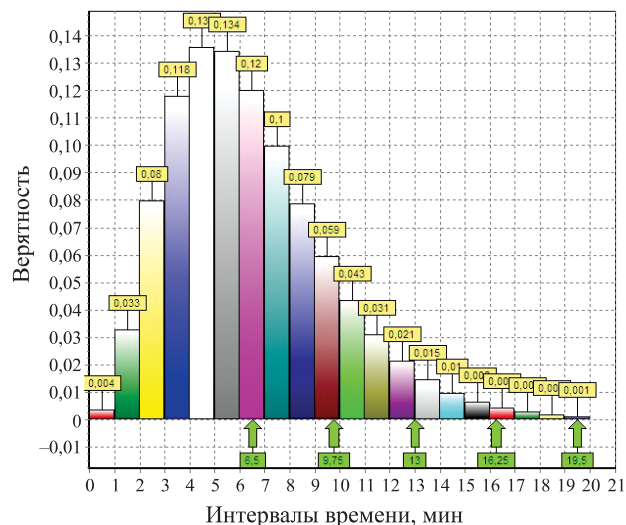


Рис. 3. Распределение времени прибытия в городах России и время, оцениваемое по “правилу 4σ” (показано стрелками)

Продemonстрируем работу программы. В качестве примера возьмем сначала города России. Для них среднее время прибытия в 2012 г. было равно 6,5 мин.

Пусть ранг распределения Эрланга $r=3$ (можно взять любое другое целое положительное число). Задавая в качестве исходного значения среднее время прибытия пожарных подразделений к месту вызова в городах 6,5 мин, получим результаты, представленные на рис. 3–5.

Из рис. 3 видно, что разброс значений времени прибытия относительно среднего $\tau_{\text{ср}}=6,5$ мин достаточно большой — от 0 до 20 мин. Этот разброс до максимального значения удобно оценивать с помощью “правила 4σ” ($\tau_{\text{max}}=\tau_{\text{ср}}+4\sigma$), что хорошо видно на рис. 3.

Из рис. 4 следует, что $P\{\tau_{\text{пр}} > 20\} = 1 - 0,998 = 0,002$, т. е. за пределы 20 мин в городах России вышли в 2012 г. только 0,2 % всех случаев прибытия первых пожарных подразделений к месту вызова, менее чем за 10 мин к месту вызова прибыли подразделения лишь в 86,2 % всех случаев. Следовательно, в 14 % случаев требования Технического регламента [2] выполнены не были. Наконец, на рис. 5 приведено семейство кривых распределения Эрланга от 0-го до 5-го рангов (напомним, что мы использовали при моделировании 3-й ранг). Из рис. 5 видно, что практически для всех рангов (кроме нулевого) за пределы 20 мин выходят не более 0,005 % всех случаев. При этом из формулы (4') следует, что при одном и том же значении $\tau_{\text{ср}}$ чем больше ранг, тем меньше значение σ . Все это полезно иметь в виду

Распределения Эрланга для заданных параметров:

$r=3$ Среднее (мин) $\tau=6.5$ Интервал (мин) $\Delta=1$ $\sigma=3.25$ $T_{\max}=20$

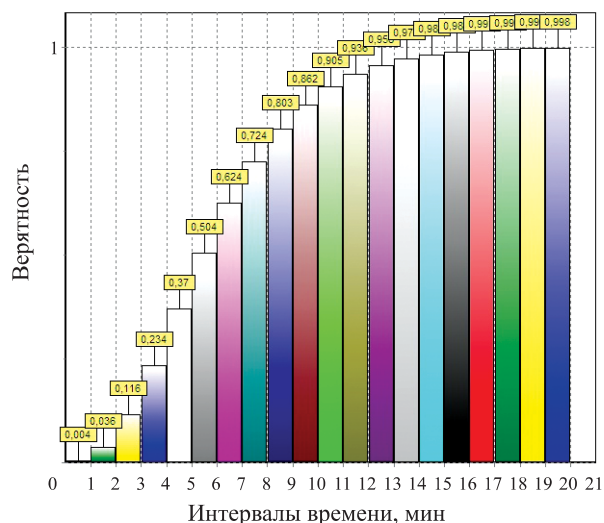
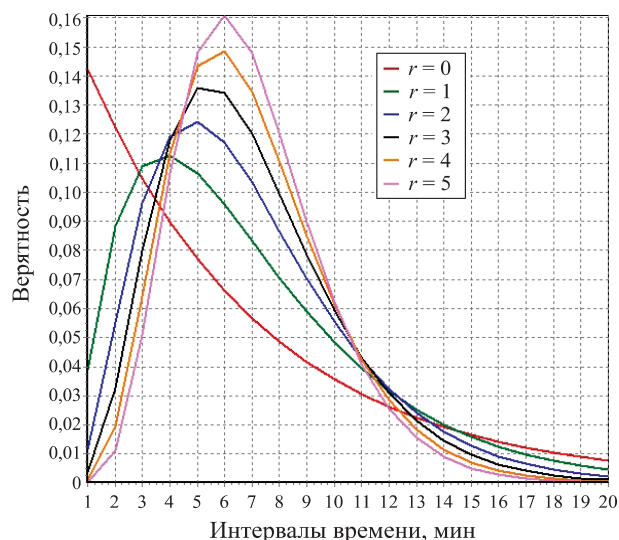


Рис. 4. График кумуляты времени прибытия в городах России

Рис. 5. Семейство распределений Эрланга для времени прибытия в городах при $\tau_{\text{ср}}=6,5$ мин

при моделировании временных характеристик с помощью распределения Эрланга.

Теперь мы можем легко проанализировать, например, ситуацию с временем прибытия в сельской местности России, где в 2012 г. $\tau_{\text{ср.приб}}=12,2$ мин (рис. 6 и 7).

Примем, как и для городов, $r=3$. Тогда, воспользовавшись формулой (4'), получим: $\sigma = 12,2/\sqrt{3+1} = 6,1$ мин. Применив “правило 4σ”, будем иметь $\tau_{\text{max}} \approx 12,2 + 4 \cdot 6,1 = 36,6 \approx 37$ мин (см. рис. 7). При этом $P\{\tau_{\text{приб}} > 36\} = 0,002$, т. е., как и в предыдущем примере, время прибытия только в 0,2 % всех выездов превысит $\tau_{\text{max}}=36$ мин.

Распределения Эрланга для заданных параметров:

Среднее (мин) $r=3$ $\tau=12.2$ Интервал (мин) $\Delta=1$ $\sigma=6.10$ $T_{\max}=37$

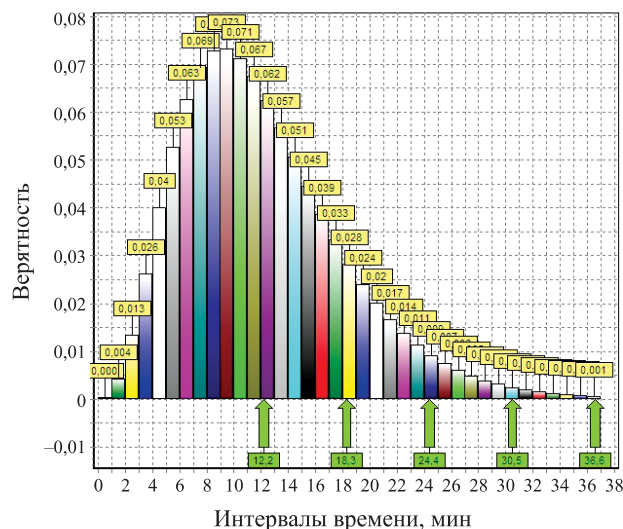


Рис. 6. Распределение времени прибытия в сельской местности России и время, оцененное по “правилу 4 σ ” (показано стрелками)

Вместе с тем для Псковской области при $\tau_{\text{ср.приб}} = 23,8$ мин и $\sigma = 23,8/\sqrt{3+1} = 11,9$ мин получим $\tau_{\text{max}} \approx 23,8 + 4 \cdot 11,9 = 71,4$ мин, т. е. в отдельных случаях время прибытия первых пожарных подразделений к месту вызова будет составлять 1,2 ч (что соответствует действительности).

Нормативы по времени прибытия и принятие управленческих решений

Итак, в соответствии с п. 1 ст. 76 [2] имеем следующие нормативы по времени прибытия: $\tau_{\text{max}} = 10$ мин для городов и $\tau_{\text{max}} = 20$ мин для сельской местности. Это значит, что в городах среднее время прибытия должно составлять 3–4 мин, а в сельской местности — 7–8 мин. Это можно проверить, воспользовавшись примерами, приведенными выше.

Возникает важный вопрос: как реализовать эти требования на практике и какие для этого нужно принять организационно-управленческие решения?

Здесь прежде всего необходимо разумно согласовать два параметра: скорость движения пожарных автомобилей по улицам города (или в сельской местности) и число пожарных депо. При этом теоретически возможны два пути.

Первый путь заключается в резком повышении средней скорости движения пожарных автомобилей (по улицам города, например, до 60 км/ч и более). Тогда, возможно, удалось бы снизить среднее время прибытия до 3–4 мин и добиться выполнения норматива.

Второй путь состоит в существенном увеличении числа пожарных депо, что повлечет за собой

Распределения Эрланга для заданных параметров:

Среднее (мин) $r=3$ $\tau=12.2$ Интервал (мин) $\Delta=1$ $\sigma=6.10$ $T_{\max}=37$

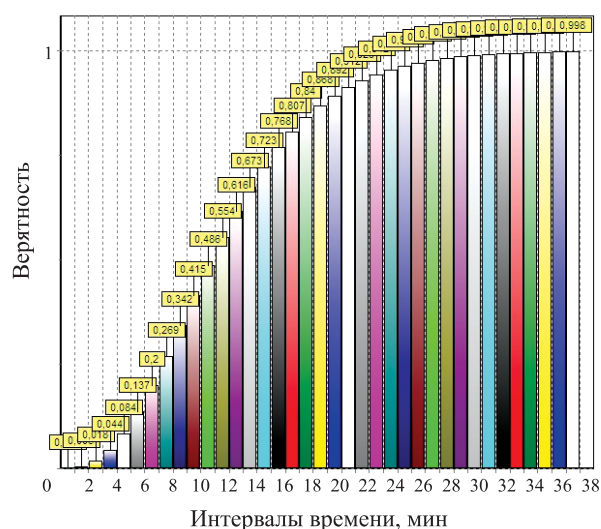


Рис. 7. График кумуляты времени прибытия в сельской местности России

огромные финансовые затраты, в частности на строительство, закупку пожарной техники и содержание личного состава [4].

Однако первый путь нереален. В ноябре 2013 г. была опубликована статья немецких специалистов [5] на эту тему. Они исследовали скорость движения обычных автомобилей по улицам Берлина и детально изучили скорость движения по тем же улицам пожарных автомобилей разного типа, следовавших на вызовы. Оказалось, что обычные автомобили двигаются со средней скоростью 24,1 км/ч, а пожарные — 31,8 км/ч независимо от времени суток, дней недели и месяцев года. Колебания при этом весьма незначительны: например, скорость в январе составила 30,8 км/ч, а в июне — 32,2 км/ч. Такая же ситуация наблюдается и в Лондоне, и в Варшаве, и в Риме, и в Париже [5]. Ни о каких 60 км/ч говорить не приходится. В Москве и Санкт-Петербурге положение не лучше.

Остается второй путь — строительство дополнительного числа пожарных депо. Для этого придется проанализировать следующую формулу [1]:

$$N_d = \alpha k_n^2 S / (V_{\text{сл}}^2 \tau_{\text{сл}}^2), \quad (9)$$

где N_d — число пожарных депо;

α — безразмерный эмпирический коэффициент;

k_n — коэффициент, учитывающий непрямолинейность уличной сети (безразмерный);

S — площадь территории города, км²;

$V_{\text{сл}}$ — средняя скорость следования пожарных автомобилей, км/мин;

$\tau_{\text{сл}}$ — среднее время следования пожарных автомобилей к месту вызова, мин.

Числитель в формуле (9) является величиной постоянной, а оба сомножителя в знаменателе — переменными. При этом в свете сказанного выше первый сомножитель практически тоже можно считать постоянным, равным $30 \text{ км/ч} = 0,5 \text{ км/мин}$ (вариации в любую сторону в пределах 1–2 км/ч).

В связи с этим фактически оказывается, что в формуле (9), многократно проверенной на практике, число депо N_d зависит главным образом от значений $\tau_{\text{сл}}$.

Если подставить в формулу (9) последовательно значения $\tau_{\text{сл}}$, равные 3, 4, 5, 6 мин и т. д., то сразу заметим, как резко меняется требуемое для города число депо: в первом случае в знаменателе будет стоять $3^2 = 9$, а в последнем $6^2 = 36$, т. е. при существенном увеличении знаменателя значение всей дроби (т. е. число депо N_d) в 4 раза уменьшится. При этом никакого существенного выигрыша ни по числу спасенных от пожара, ни по величине ущерба от него не будет [6].

Выводы

Распределение Эрланга является удачной математической моделью всех временных характеристик оперативной деятельности противопожарной службы. Оно позволяет детально анализировать любую временную характеристику этой деятельности (в частности, разброс ее значений относительно среднего).

Исследованиями установлено, что требования п. 1 ст. 76 Технического регламента [2] ни в городах, ни в сельской местности России выполнить невозможно.

В связи с этим этот пункт целесообразно сформулировать следующим образом: время прибытия первых пожарных подразделений (при полном боевом расчете) к месту вызова для городов должно составлять не более 10 мин в 90 % всех случаев, для сельской местности — не более 20 мин в 80 % всех случаев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М. и др. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : ФАЗИС, 2004. — 172 с.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2012 г. : статистический сборник. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2013. — 124 с.
4. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. К вопросу о нормативах положенности основной и специальной пожарной техники для городов и населенных пунктов России // Пожарное дело. — 2009. — № 1. — С. 38–40.
5. Harald Herweg, Peter Wagner. Schnell wie die Feuerwehr // VFDB. — Heft 4, November 2013. — S. 194–204.
6. Брушлинский Н. Н., Костюченко Д. А., Лупанов С. А., Соколов С. В. Фактор времени // Пожарное дело. — 2012. — № 4. — С. 38–40.

Материал поступил в редакцию 27 января 2014 г.

English

ABOUT ERLANG'S DISTRIBUTION AND SOME ITS APPLICATIONS

ALEKHIN E. M., Candidate of Technical Sciences, Chief of Office of Research-Educational Complex of the Problems of Organization and Management in the State Fire Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: k-post1@yandex.ru)

BRUSHLINSKIY N. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Management and Economy Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: nbrus1934@yandex.ru)

SOLOV S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Management and Economy Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: albrus-ssv1@yandex.ru)

ABSTRACT

The article summarizes presents the problems of temporal characteristics of fire service activities modeling by means of Erlang distribution. All temporal characteristics are random continuous

variables and study them by using probabilistic and statistical methods. Statistical analysis of a large array of real temporal characteristics of the fire services activities in the cities and countries around the world demonstrates that they are well describes by Erlang distribution of different orders, thus the Erlang distribution can be regarded as a mathematical model of the temporal characteristics of the fire services activities of cities (and territories). There were examined the regulations of the response time for fire service contained in the “Technical regulations on fire safety requirements”. It is shown the inconsistency of these regulations, due to the fact that they are not possible to realize in the cities and mainly in the rural areas. The authors propose its wording of regulations for response time of the fire units to the call set in the cities and the rural areas.

Keywords: Erlang distribution; temporal characteristics; modeling; standards.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Alekhin E. M. et al. *Bezopasnost gorodov. Imitatsionnoye modelirovaniye gorodskikh protsessov i sistem* [Safety of cities. Simulation modeling of city process and systems]. Moscow, FASIS Publ., 2004. 172 p.
2. *Technical Regulation about fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2008. 157 p. (in Russian).
3. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2012 g.: statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2012. Statistical bulletin]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2013. 124 p.
4. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. K voprosy o normativakh polozhennosti osnovnoy i spetsialnoy pozharnoy tekhniki dlya gorodov i naselyennykh punktov Rossii [About fire units standards for cities of Russia]. *Pozharnoye delo — Fire Business*, 2009, no. 1, pp. 38–40.
5. Harald Herweg, Peter Wagner. Schnell wie die Feuerwehr. *VFDB*, Heft 4, November 2013, ss. 194–204.
6. Brushlinskiy N. N., Kostyuchenko D. A., Lupanov S. A., Sokolov S. V. Faktor vremeni [Factor of time]. *Pozharnoye delo — Fire Business*, 2012, no. 4, pp. 38–40.



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

А. О. ЖДАНОВА, аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zhdanovaao@tpu.ru)

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: elf@tpu.ru)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.46

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ПЛЕНКИ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА

Проведено численное исследование процессов теплопереноса в условиях эндотермических фазовых превращений при испарении пленки воды на поверхности типичных лесных горючих материалов (ЛГМ). Установлены соотношения между толщиной слоя пленки жидкости, испарившегося при подавлении реакции термического разложения в рассматриваемых ЛГМ (листья березы, хвоя сосны и ели), и размерами прогретого приповерхностного слоя ЛГМ. Приведены характерные времена подавления реакции термического разложения типичных ЛГМ при испарении пленки воды на их поверхности.

Ключевые слова: лесной горючий материал; вода; пленка; термическое разложение; тушение.

Введение

Локальный сброс воды с воздушных судов в зону горения, как правило, приводит к существенному заливанню ограниченных по характерным размерам участков лесных пожаров [1, 2]. Достаточно часто это не является гарантией ликвидации очага горения [3, 4], так как пламя в малой окрестности зоны тушения может через относительно небольшой интервал времени интенсифицировать процесс горения. Рассматриваемые в качестве перспективных в последние годы водяные и пароводяные “завесы” [5–7] призваны покрыть существенно большую площадь пожара по сравнению со сплошными массами воды (при этом экономится достаточно много тушащей жидкости). Эффективность применения таких подходов для локализации пламени обоснована известными результатами теоретических и экспериментальных исследований [8–12]. Однако открытым остается вопрос об объемах жидкости, необходимых и достаточных (минимальных) для подавления реакции термического разложения в приповерхностных слоях типичных лесных горючих материалов (ЛГМ). Такие оценки можно провести при численном моделировании взаимосвязанных процессов теплопереноса и эндотермических фазовых превращений в системе *пленка воды – ЛГМ*.

Цель настоящей работы — численное исследование процессов теплопереноса в условиях эндотермических фазовых превращений при испарении пленки воды на поверхности типичных лесных горючих материалов.

Постановка задачи

При постановке рассматриваемой задачи теплопереноса (рис. 1) предполагалось, что “водяной снаряд” (большая совокупность капель воды) проходит через пламя и вода равномерно растекается по поверхности ЛГМ (листья березы, хвоя сосны и ели). В результате образуется пленка жидкости фик-

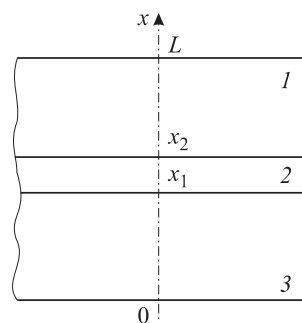


Рис. 1. Схема области решения задачи теплопереноса при испарении пленки воды на поверхности ЛГМ ($0 < t < t_d$): 1 — парогазовая смесь; 2 — вода; 3 — ЛГМ

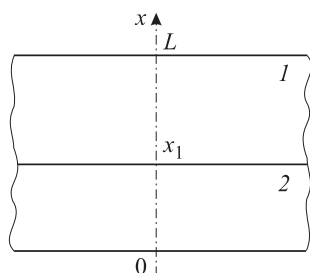


Рис. 2. Схема области решения задачи теплопереноса при термическом разложении ЛГМ: 1 — пламя (высокотемпературная газовая среда); 2 — ЛГМ

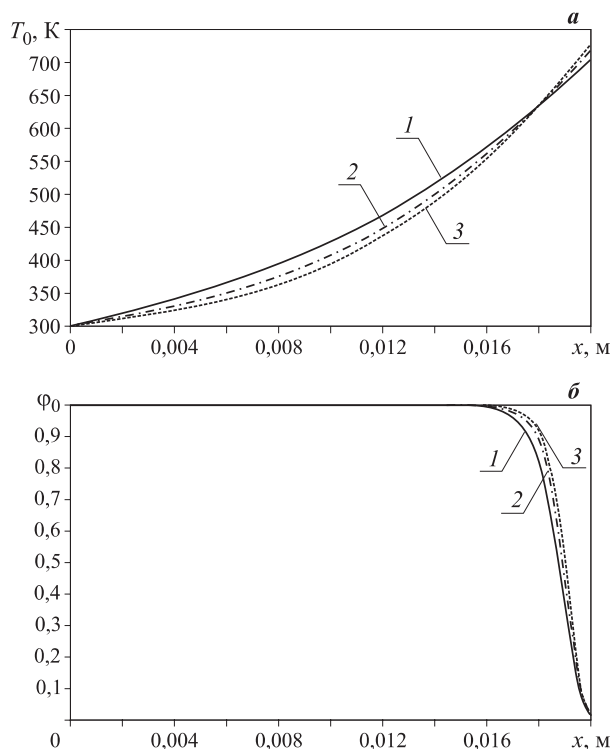


Рис. 3. Типичные распределения температуры (а) и доли способного к химическому реагированию вещества (б) в ЛГМ ($L_w = 0,02$ м) при его термическом разложении в условиях постоянной внешней температуры (1170 К): 1 — листья березы; 2 — хвоя сосны; 3 — хвоя ели

сированных размеров (толщиной L_w). Считалось, что жидкость прогревается за счет теплообмена с термически разлагающимся ЛГМ. На границе *пленка воды – ЛГМ* при достижении условий фазового перехода происходит парообразование (испарение). За счет теплоты эндотермического фазового перехода температура ЛГМ снижается. В процессе интенсивного парообразования толщина “водяного снаряда” (пленки жидкости) уменьшается. Фиксировалось время t_d снижения температуры ЛГМ относительно температуры начала термического разложения T_d . Параметр t_d иллюстрирует время подавления (прекращения) реакции термического разложения ЛГМ. Вычислялась также толщина испарившегося слоя жидкости L_e . Эта величина ил-

люстрирует толщину слоя пленки жидкости, непосредственно задействованного при подавлении реакции термического разложения.

Для установления начального распределения температуры $T_0(x)$ и доли способного к химическому реагированию (термическому разложению) вещества $\phi_0(x)$ в приповерхностном слое ЛГМ толщиной L_f решалась задача теплопереноса [13] в системе, представленной на рис. 2. Аналогично [13] вычислялись профили $T_0(x)$ и $\phi_0(x)$ при постоянной температуре внешней газовой среды (продуктов сгорания) 1170 К, соответствующей средней температуре пожара [14]. На рис. 3 приведены типичные (начальные для сформулированной ниже задачи) распределения $T_0(x)$ и $\phi_0(x)$ в приповерхностном слое ЛГМ (листья березы, хвоя сосны и ели), полученные при решении уравнения энергии для ЛГМ [13].

Математическая модель и методы решения

Нестационарные дифференциальные уравнения теплопереноса в частных производных для системы *парогазовая смесь – пленка воды – ЛГМ* (см. рис. 1) согласно основным положениям [15, 16] при $0 < t < t_d$ имеют следующий вид:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \quad \text{при } x_2 < x < L; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} \quad \text{при } x_1 < x < x_2; \quad (2)$$

$$\rho_3 C_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + Q_3 W_3 \quad \text{при } 0 < x < x_1; \quad (3)$$

$$\frac{d\phi_3}{dt} = (1 - \phi_3) k_3^0 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_3}\right), \quad (4)$$

где t — время, с;

T — температура, К;

a — температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$; $a = \lambda/(C\rho)$;

λ — теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

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

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

x — координата декартовой системы, м;

L — размер области решения, м;

Q_3 — тепловой эффект реакции термического разложения, $\text{Дж}/\text{кг}$;

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

k_3^0 — предэкспонента, с^{-1} ;

E_3 — энергия активации, $\text{кДж}/\text{моль}$;

ϕ_3 — доля вещества, способного к химическому реагированию;

R — универсальная газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$;

индексы: 1 — парогазовая смесь, 2 — вода, 3 — ЛГМ.

Начальные ($t = 0$) условия (см. рис. 1):

- $\varphi_3 = \varphi_0(x)$, $T_3 = T_0(x)$ при $0 < x < x_1$ (см. рис. 3);
- $T_1 = T_n$ при $x_1 < x < L$ (где T_n — начальная температура воды и парогазовой смеси, К).

Граничные условия при $0 < t \leq t_d$ (см. рис. 1):

- $x = 0$:

$$\partial T_3 / \partial x = 0; \quad (5)$$

- $x = L$:

$$\partial T_1 / \partial x = 0; \quad (6)$$

- $x = x_1$:

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} - Q_3 W_3^\Sigma = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} + Q_2 W_2, \quad T_3 = T_2; \quad (7)$$

- $x = x_2$:

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x}, \quad T_2 = T_1, \quad (8)$$

где $W_3^\Sigma = \int_{y=0}^{y=y_1} \varphi_3 \rho_3 k_3^0 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_3}\right) dx$.

Теплофизические характеристики приповерхностного слоя ЛГМ вычислялись с учетом реакции термического разложения из следующих выражений:

$$\lambda_3 = \lambda_{31}\varphi_3 + \lambda_{32}(1 - \varphi_3);$$

$$C_3 = C_{31}\varphi_3 + C_{32}(1 - \varphi_3);$$

$$\rho_3 = \rho_{31}\varphi_3 + \rho_{32}(1 - \varphi_3),$$

где индексы “31” и “32” соответствуют непрореагировавшему ЛГМ и продуктам его термического разложения.

Для вычисления массовой скорости испарения воды использовалось следующее выражение [17]:

$$W_e = \frac{\beta}{1 - k_\beta \beta} \frac{(P^n - P)}{\sqrt{2\pi RT_{2s}/M}}, \quad (9)$$

где β — безразмерный коэффициент конденсации (испарения);

k_β — безразмерный коэффициент; $k_\beta \approx 0,4$ [17];

P^n — давление насыщенных паров воды, Н/м²;

P — давление паров воды вблизи границы испарения, Н/м²;

T_{2s} — температура на границе вода — ЛГМ, К;

M — молярная масса воды, кг/кмоль.

Скорость термического разложения ЛГМ вычислялась по формуле [15]:

$$W_3 = \varphi_3 \rho_3 k_3^0 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_3}\right). \quad (10)$$

Для решения системы нестационарных нелинейных дифференциальных уравнений (1)–(10) применен метод конечных разностей [18]. Разностные аналоги дифференциальных уравнений решены локально-одномерным методом [18]. Решение нелинейных уравнений осуществлялось методом простых итераций [19]. Одномерные разностные уравнения

решены методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы [18]. Аналогично [11] применялась “сгущающаяся” в окрестности границы фазового перехода разностная координатная сетка. Моделирование проводилось с неравномерным шагом по времени — от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-1}$ с.

Оценка достоверности полученных результатов численных исследований выполнялась проверкой консервативности используемых разностных схем (алгоритм аналогичен приведенному в [20, 21]).

Результаты исследований и их обсуждение

Численные исследования выполнены при следующих исходных данных [21–28]: начальная температура воды и парогазовой смеси $T_n = 300$ К; профили $T_0(x)$ и $\varphi_0(x)$ задавались в соответствии с результатами решения задачи [13] в виде распределений, приведенных на рис. 3; температура начала термического разложения ЛГМ $T_d = 500$ К; параметры химической реакции принимались идентичными для рассмотренных типов ЛГМ: $k_3^0 = 3,63 \cdot 10^4$ с⁻¹, $E_3 = 78,114$ кДж/моль, $Q_3 = 1 \cdot 10^3$ Дж/кг; безразмерный коэффициент конденсации (испарения) $\beta = 0,1$; молярная масса воды $M = 18$ кг/кмоль; тепловой эффект испарения воды $Q_e = 2,26$ МДж/кг. Толщина приповерхностного слоя ЛГМ варьировалась в диапазоне $L_f = 0,02 \div 0,06$ мм. Толщина пленки жидкости принималась $L_w = 0,01$ мм. Размер области решения изменялся в зависимости от значений L_f в диапазоне $L = 0,02 \div 0,20$ м.

Теплофизические характеристики взаимодействующих веществ принимались следующими [21–25]:

- для ЛГМ (листья березы):
 $\lambda_{31} = 0,125$ Вт/(м·К), $C_{31} = 1719$ Дж/(кг·К),
 $\rho_{31} = 614$ кг/м³, $\lambda_{32} = 0,029$ Вт/(м·К),
 $C_{32} = 2449$ Дж/(кг·К), $\rho_{32} = 2,7$ кг/м³;
- для ЛГМ (хвоя сосны):
 $\lambda_{31} = 0,102$ Вт/(м·К), $C_{31} = 1400$ Дж/(кг·К),
 $\rho_{31} = 500$ кг/м³, $\lambda_{32} = 0,027$ Вт/(м·К),
 $C_{32} = 2280$ Дж/(кг·К), $\rho_{32} = 2,5$ кг/м³;
- для ЛГМ (хвоя ели):
 $\lambda_{31} = 0,091$ Вт/(м·К), $C_{31} = 1246$ Дж/(кг·К),
 $\rho_{31} = 445$ кг/м³, $\lambda_{32} = 0,024$ Вт/(м·К),
 $C_{32} = 2026$ Дж/(кг·К), $\rho_{32} = 2,2$ кг/м³;
- для воды:
 $\lambda_2 = 0,56$ Вт/(м·К), $C_2 = 4200$ Дж/(кг·К),
 $\rho_2 = 1000$ кг/м³;
- для парогазовой смеси:
 $\lambda_1 = 0,026$ Вт/(м·К), $C_1 = 1190$ Дж/(кг·К),
 $\rho_1 = 1,161$ кг/м³.

При решении задачи теплопереноса (1)–(10) фиксировались распределения температуры в приповерхностном слое ЛГМ в разные моменты времени. На рис. 4 приведены типичные распределения тем-

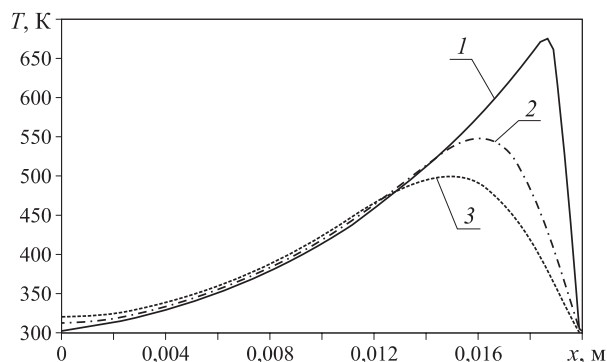


Рис. 4. Распределение температуры в приповерхностном слое ЛГМ (хвоя сосны) при $L_f = 0,02$ м и $L_w = 0,01$ м в разные моменты времени: 1 — 1 с; 2 — 15 с; 3 — 34 с

пературы в приповерхностном слое ЛГМ (хвоя сосны) толщиной 0,02 м при начальной толщине пленки жидкости 0,01 м. Из рис. 4 видно, что температура в приповерхностном слое ЛГМ снижается нелинейно. Установленные особенности изменения температуры ЛГМ можно объяснить интенсивным химическим реагированием при термическом разложении в твердой фазе, а также теплообменом с внешней средой (пленкой воды) при энергозатратных и инерционных эндотермических фазовых превращениях.

На рис. 5,а представлены полученные в результате численных исследований зависимости толщины слоя испарившейся при подавлении реакции термического разложения жидкости L_e от характерного размера прогретого приповерхностного слоя ЛГМ L_f . Параметр L_e представляет собой минимальную толщину пленки жидкости, при которой температура в ЛГМ становится ниже T_d .

Можно отметить нелинейный характер изменения L_e в зависимости от параметра L_f . Во-первых, это обусловлено нелинейной зависимостью скорости термического разложения ЛГМ от температуры (10). Во-вторых, существенное влияние на условия охлаждения ЛГМ оказывают начальные распределения $T_0(x)$ и $\phi_0(x)$ в приповерхностном слое ЛГМ (соответствующие процессу его горения). Известно [3, 4], что распределения температуры в приповерхностном слое ЛГМ при горении могут значительно изменяться с течением времени. Это главным образом связано с выгоранием определенной доли приповерхностного слоя и заполнением этой области газообразными продуктами сгорания и коксом (как следствие, существенно меняется доля способного к термическому разложению вещества). Пропорции между заполняющими указанную область компонентами могут существенно отличаться в зависимости от внешних условий. Выбранные в качестве начальных профили $T_0(x)$ и $\phi_0(x)$ иллюстрируют (см. рис. 3) условия, при которых перед контактом с

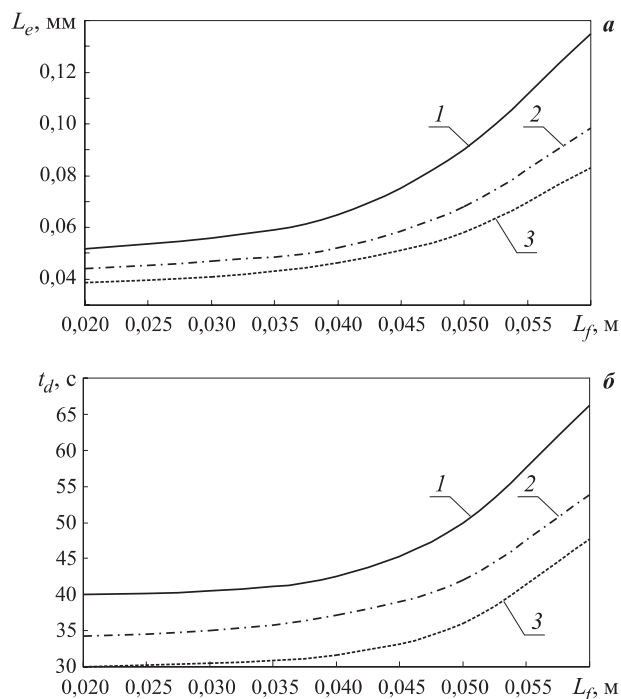


Рис. 5. Зависимости толщины испарившегося слоя пленки жидкости (а) и времени подавления реакции термического разложения (б) от характерного размера ЛГМ: 1 — листья березы; 2 — хвоя сосны; 3 — хвоя ели

пленкой воды выгорание ЛГМ происходит в узком приповерхностном слое. На практике возможна реализация условий, при которых толщина прогретого приповерхностного слоя ЛГМ будет превышать рассматриваемые значения L_f . Как следствие, возрастут и значения L_e .

Для зависимостей, приведенных на рис. 5,а, сформулированы следующие аппроксимационные выражения:

- для листьев березы:

$$L_e = 1266,7L_f^3 - 82,429L_f^2 + 2,087L_f + 0,033 \quad \text{при } 0,02 < L_f < 0,06 \text{ м;} \quad (11)$$

- для хвои сосны:

$$L_e = 1041,7L_f^3 - 77,857L_f^2 + 2,174L_f + 0,023 \quad \text{при } 0,02 < L_f < 0,06 \text{ м;} \quad (12)$$

- для хвои ели:

$$L_e = 891,67L_f^3 - 70L_f^2 + 2,081L_f + 0,017 \quad \text{при } 0,02 < L_f < 0,06 \text{ м.} \quad (13)$$

Зависимости $L_e = f(L_f)$ показывают (см. рис. 5,а), что для подавления (предотвращения) реакции термического разложения в приповерхностных слоях типичных ЛГМ размерами до 0,06 м требуются пленки жидкости толщиной L_e , не превышающей 1 мм. Выявленная особенность иллюстрирует избыточность подачи воды типичным для авиации способом — локальным сбрасыванием [1, 2], при котором на

поверхности ЛГМ могут формироваться пленки жидкости толщиной, существенно превышающей установленные достаточные (минимальные) значения L_e .

При численном моделировании определены также характерные времена подавления реакции термического разложения рассматриваемых ЛГМ t_d при воздействии на них рассматриваемой пленки воды (см. рис. 5,б).

Показано, что для $L_f < 0,05$ м значения t_d не превышают 1 мин. При $L_f \rightarrow 0,06$ мм для полного подавления реакции термического разложения потребуется $t_d < 1,5$ мин. Установленные результаты позволяют сделать вывод о том, что даже при минимальных толщинах пленки жидкости L_w для подавления реакции термического разложения ЛГМ достаточно испарения слоя воды L_e в течение очень малого интервала времени.

Для зависимостей, приведенных на рис. 5,б, сформулированы аппроксимационные выражения:

- для листьев березы:

$$t_d = 600000L_f^3 - 45643L_f^2 + 1186,4L_f + 29,74 \quad \text{при } 0,02 < L_f < 0,06 \text{ м;} \quad (14)$$

- для хвои сосны:

$$t_d = 458333L_f^3 - 37143L_f^2 + 1075,6L_f + 23,94 \quad \text{при } 0,02 < L_f < 0,06 \text{ м;} \quad (15)$$

- для хвои ели:

$$t_d = 558333L_f^3 - 48643L_f^2 + 1430,6L_f + 16,36 \quad \text{при } 0,02 < L_f < 0,06 \text{ м.} \quad (16)$$

Следует отметить, что на величину t_d и L_e существенное влияние оказывают исходные параметры

решения задачи теплопереноса, и в первую очередь — кинетические показатели термического разложения (E_3, k_3^0, Q_3, T_d). Известные на сегодняшний день значения E_3, k_3^0, Q_3 и T_d варьируются для широкой группы типичных ЛГМ в пределах 30–40 % [26–28]. В настоящей работе приведены результаты вычислений при средних значениях известных диапазонов изменения E_3, k_3^0, Q_3, T_d . Разработанную модель теплопереноса можно использовать для вычисления необходимых и достаточных толщин пленок воды и времен их испарения при различных значениях E_3, k_3^0, Q_3 и T_d .

Заключение

На основании результатов численных исследований можно сделать вывод о том, что условия, при которых реакция термического разложения в приповерхностном слое типичного ЛГМ прекращается (температура менее T_d), реализуются при толщине испарившегося слоя пленки воды менее 1 мм. Приведенные аппроксимационные выражения (11)–(16) для функций $L_e = f(L_f)$ и $t_d = f(L_f)$ позволяют определить необходимую толщину пленки тушащей жидкости (и, как следствие, объем “водяного снаряда”), а также характерные времена t_d для подавления (прекращения) реакции термического разложения широко распространенных ЛГМ (листья березы, хвоя сосны и ели).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-620.2012.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасанов И. Р., Москвиллин Е. А. Авиационные методы тушения крупных лесных пожаров // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : матер. XV науч.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 1999. — Ч. 1. — С. 300–301.
2. Горшков В. С., Москвиллин Е. А., Хасанов И. Р. Оценка параметров тушения лесных пожаров авиационными средствами // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников : сб. тез. науч.-практ. конф. — М. : ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2001. — С. 34–35.
3. Щетинский Е. А. Тушение лесных пожаров. — М. : ВНИИЛМ, 2002. — 104 с.
4. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
5. Wighus R. Water mist fire suppression technology — status and gaps in knowledge // Proceedings of the International Water Mist Conference. — Vienna, 2001. — P. 1–26.
6. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles // Fire safety science : proceeding of Eight International Symposium. — 2005. — Vol. 27. — P. 753–764.
7. Ковалев А. Н., Журавлева Л. А. Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // Научная жизнь. — 2012. — № 4. — С. 153–157.
8. Соколов В. В., Тугов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.

9. Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 45–58.
10. Корольченко Д. А., Громовай В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 54–57.
11. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
12. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование закономерностей испарения тонкораспыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 35, № 9. — С. 38–46.
13. Жданова А. О. Определение характерных времен прекращения реакции термического разложения типичных лесных горючих материалов при воздействии “водяного снаряда” // I Международный молодежный форум “Интеллектуальные энергосистемы”. — Томск, 2013. — Т. 1. — С. 295–298.
14. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 268 с.
15. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 490 с.
16. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. — М. : Наука, 1984. — 277 с.
17. Муратова Т. М., Лабунцов Д. А. Кинетический анализ процессов испарения и конденсации // Теплофизика высоких температур. — 1969. — Т. 7, № 5. — С. 959–967.
18. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — 616 с.
19. Коздоба Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. — М. : Наука, 1975. — 227 с.
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, Issues 5–6. — P. 923–930.
21. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer in the process of movement of water drops in a high-temperature gas medium // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2013. — Vol. 86, No. 1. — P. 62–68.
22. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
23. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
24. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 2. — 896 с.
25. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
26. Grishin A. M., Sinitsyn S. P., Akimova I. V. Comparative analysis of thermokinetic constant of drying and pyrolysis of forest fuels // Combustion and Explosion Physics Journal. — 1991. — Vol. 27. — P. 17–24.
27. Lautenberger C. H., Fernando-Pello C. A model for the oxidative pyrolysis of wood // Combustion and Flame. — 2009. — Vol. 156. — P. 1503–1513.
28. Барановский Н. В., Гоман П. Н. Сравнительный анализ численного моделирования и экспериментальных данных по зажиганию лесных горючих материалов лучистым тепловым потоком // Фундаментальные исследования. Физико-математические науки. — 2013. — № 10. — С. 747–751.

Материал поступил в редакцию 8 ноября 2013 г.

English

NUMERICAL INVESTIGATION OF WATER FILM EVAPORATION ON THE SURFACE OF FOREST FUEL

ZHDANOVA A. O., Postgraduate Student of Automation Thermal and Power Processes
Department, Power Institute of National Research Tomsk Polytechnic University
(Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: zhdanovaa@tpu.ru)

KUZNETSOV G. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Theoretical and Industrial Heat Engineering Department, Power Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: elf@tpu.ru)

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

ABSTRACT

The results of numerical studies of heat transfer processes at the evaporation of liquid film on a surface of typical forest fuel (FF) are presented.

Values of the desired thickness of the liquid film at different sizes of the heated surface layer of the typical FF (birch leaves, pine and spruce needles) for suppression of the thermal decomposition reaction (end of burning) are shown. It is established that at the thickness of the surface layer FF is not more than 0.06 m in the process of suppressing the thermal decomposition reaction evaporates the water layer with a thickness L_e less than 1 mm. This result shows that the “cooling” of the near-surface FF layer quite substantially smaller liquid film thickness as compared with the actually emerging in extinguishing fires.

The characteristic times of suppression of the thermal decomposition reaction (end of burning) of typical FF disease when exposed to water films with minimum dimensions. It is established that at the thickness of the near-surface FF layer less than 0.06 m need time not more than 1.5 minutes.

Approximation expression showing redundancy water supply into the combustion zone “local dropping”, in which the surface of FF can form a liquid film thickness significantly greater than the required set (minimum) value L_e are formulated.

Keywords: forest fuel; water; liquid film; thermal decomposition; suppression.

REFERENCES

1. Khasanov I. R., Moskvilin E. A. Aviatsonnyye metody tusheniya krupnykh lesnykh pozharov [Aviation methods extinguishing large forest fires]. *Problemy gorenija i tusheniya pozharov na rubezhe vekov: materialy XV nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems burning and extinguishing fires at the turn of the century]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1999, part 1, pp. 300–301.
2. Gorshkov V. S., Moskvilin E. A., Khasanov I. R. Otsenka parametrov tusheniya lesnykh pozharov aviatsionnymi sredstvami [Parameter estimation forest fire fighting air assets]. *Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy i ikh istochnikov: sbornik tezisev nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The problem of forecasting of emergency situations and their sources: book of abstracts of scientific and practical conference]. Moscow, IITs VNII GOChS Publ., 2001, pp. 34–35.
3. Shchetinskiy Ye. A. *Tusheniye lesnykh pozharov* [Fighting forest fires]. Moscow, VNIILM Publ., 2002. 104 p.
4. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Prediction of forest fires and their environmental impacts]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009. 301 p.
5. Wighus R. Water mist fire suppression technology — status and gaps in knowledge. *Proceedings of the International Water Mist Conference*. Vienna, 2001, pp. 1–26.
6. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles. *Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium*, 2005, vol. 27, pp. 753–764.
7. Kovalev A. N., Zhuravleva L. A. Perspektivnyye napravleniya tusheniya nizovykh lesnykh i stepnykh pozharov [Perspective directions of quenching fire ground forest and grassland fire]. *Nauchnaya zhizn — Academic Life*, 2012, no. 4, pp. 153–157.
8. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomatizirovannoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniye tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatic fire extinguishing using water mist in power plants]. *Energetic*, 2008, no. 6, pp. 37–38.

9. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L., Kudryavtsev E. A. Izucheniye zakonornostey tusheniya tonkoraspylennoy vody modelnykh ochagov pozhara [Study of the patterns for water mist fire model site]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–48.
10. Korol'chenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Using of water mist to extinguish fires in high-rise buildings]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
11. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical evaluation of optimal size of water droplets in it spraying fire-extinguishing equipment in the premises]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
12. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye zakonornostey ispareniya tonkoraspylennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Experimental research of evaporation regularities for pulverized water moving through high-temperature combustion products]. *Butlerovskiy soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 35, no. 9, pp. 38–46.
13. Zhdanova A. O. Opredeleniye kharakternykh vremen prekrashcheniya reaktsii termicheskogo razlozheniya tipichnykh lesnykh goryuchikh materialov pri vozdeystvii “vodyanogo snaryada” [Determination of the characteristic times of the termination of the thermal decomposition reaction of typical forest fuel when exposed to “water shell”]. *I Mezhdunarodnyy molodezhnyy forum “Intellektualnyye energosistemy”* [1st International Youth Forum “SMART GRIDS”]. Tomsk, 2013, vol. 1, pp. 295–298.
14. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing the flame flammable liquids]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 268 p.
15. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 490 p.
16. Paskonov V. M., Polezhaev V. I., Chudov L. A. *Chislennoye modelirovaniye protsessov teplo- i massoobmena* [Numerical modeling of heat and mass transfer]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 277 p.
17. Muratova T. M., Labuntsov D. A. *Kineticheskiy analiz protsessov ispareniya i kondensatsii* [Kinetic analysis of evaporation and condensation processes]. *Teplofizika vysokikh temperatur — Thermophysics of High Temperatures*, 1969, vol. 7, no. 5, pp. 959–967.
18. Samarskiy A. A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
19. Kozdoba L. A. *Metody resheniya nelineynykh zadach teploprovodnosti* [Methods for solving nonlinear heat conduction problems]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 227 p.
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, pp. 923–930.
21. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer in the process of movement of water drops in a high-temperature gas medium. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 62–68.
22. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Publ., 2006. 720 p.
23. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds.) *Teplotekhnicheskiy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 1, 743 p.
24. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds.) *Teplotekhnicheskiy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 2, 896 p.
25. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvbezopasnost 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.
26. Grishin A. M., Sinitsin S. P., Akimova I. V. Comparative analysis of thermokinetic constant of drying and pyrolysis of forest fuels. *Combustion and Explosion Physics Journal*, 1991, vol. 27, pp. 17–24.
27. Lautenberger C. H., Fernando-Pello C. A model for the oxidative pyrolysis of wood. *Combustion and Flame*, 2009, vol. 156, pp. 1503–1513.
28. Baranovskiy N. V., Goman P. N. Sravnitelnyy analiz chislennogo modelirovaniya i eksperimentalnykh dannykh po zazhiganiyu lesnykh goryuchikh materialov luchistym teplovym potokom [Comparative analysis of numerical simulation and experimental data on the ignition of combustible forest materials by radiant heat flow]. *Fundamentalnyye issledovaniya. Fiziko-matematicheskiye nauki — Fundamental Research. Physics and Mathematics*, 2013, vol. 10, pp. 747–751.

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

О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, канд. юр. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

Е. Н. БОЛДЫРЕВ, старший преподаватель кафедры инженерной теплофизики и гидравлики Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.841.4

КОЭФФИЦИЕНТЫ УЧАСТИЯ ВОДОРОДА В ГОРЕНИИ И ВЗРЫВЕ ПРИ ЛАМИНАРНОЙ И ТУРБУЛЕНТНОЙ КОНВЕКЦИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЕ

Рассматривается модельная задача распространения водорода в воздухе при ламинарной или турбулентной конвекции на горизонтальной проницаемой поверхности, через которую натекает водород, при обдуве поверхности потоком воздуха. Предложена математическая модель расчета распределения концентраций водорода по поперечному сечению пограничного слоя. Получены аналитические формулы для определения долей массового расхода водорода, проходящего через поперечное сечение пограничного слоя, которые приходятся на горючие и взрывоопасные водородно-воздушные смеси.

Ключевые слова: водород; горение; взрыв; коэффициенты участия; конвекция; пограничный слой.

Введение

В соответствии с [1] коэффициенты участия водорода в горении и взрыве могут быть рассчитаны на основе характера распределения газа в объеме помещения и принимаются $Z_{H_2} = 1$ (см. табл. А.1 [1]).

При натекании водорода в помещение для определения вышеуказанного коэффициента необходимо рассчитать концентрационные поля. В общем случае эта задача является нестационарной и трехмерной [2] и требует численного решения исходной системы уравнений.

Однако существует ряд модельных задач, из которых можно аналитически определить коэффициенты участия водорода в горении и взрыве. Например, в [3] решена аналитическая задача при одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода в воздухе.

В настоящей работе рассматривается модельная задача распространения водорода в воздухе при ламинарной или турбулентной конвекции на горизонтальной проницаемой поверхности, через которую натекает водород, при ее обдуве потоком воздуха.

Постановка задачи

Рассмотрим диффузионный пограничный слой при конвекции на горизонтальной проницаемой пластине. Схема обтекания представлена на рис. 1.

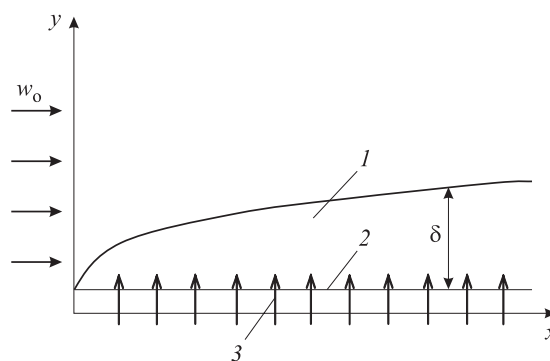


Рис. 1. Схема диффузионного пограничного слоя при конвекции на горизонтальной проницаемой пластине: 1 — пограничный слой; 2 — поверхность пластины, где $X_{H_2} = 1$; 3 — направление движения водорода на стенке; x — координата вдоль длины пластины, м; y — координата, перпендикулярная поверхности пластины, м; δ — толщина диффузионного пограничного слоя, м; w_0 — скорость набегающего потока воздуха, м/с

В основной поток воздуха, движущийся параллельно поверхности пластины, вдувается через пористую поверхность водород с температурой, равной температуре торможения воздуха. Такой случай эквивалентен обдуванию вентилятором или ветром поверхности испаряющегося жидкого водорода или открытой поверхности емкости с газообразным водородом при равенстве давления внутри нее на-

ружному (например, при разгерметизации гидридного аккумулятора водорода [4]).

Математическая модель

Доли суммарного массового расхода водорода, проходящего через поперечное сечение пограничного слоя, которые приходятся на горючие (z_f) и взрывоопасные (z_e) водородно-воздушные смеси, соответственно определяются по формулам:

$$z_f = G_f / G_\Sigma; \quad (1)$$

$$z_e = G_e / G_\Sigma, \quad (2)$$

где G_f — суммарный массовый расход водорода, проходящий на участок с его концентрацией $X_{f1} \leq X_{H_2} \leq X_{f2}$ (горючая смесь), кг/с;

G_Σ — суммарный массовый расход водорода, проходящий через поперечное сечение пограничного слоя, кг/с;

G_e — суммарный массовый расход водорода, проходящий на участок с его концентрацией $X_{e1} \leq X_{H_2} \leq X_{e2}$ (взрывоопасная смесь), кг/с;

X_{f1} и X_{f2} — нижний и верхний концентрационные пределы горения;

X_{e1} и X_{e2} — нижний и верхний концентрационные пределы детонации;

X_{H_2} — массовая концентрация водорода.

Зная профили параметров газовой смеси по сечению пограничного слоя, можно записать:

$$G_f = B \delta \int_{\xi_{f1}}^{\xi_{f2}} \rho_{см} X_{H_2} w_x d\xi; \quad (3)$$

$$G_e = B \delta \int_{\xi_{e1}}^{\xi_{e2}} \rho_{см} X_{H_2} w_x d\xi; \quad (4)$$

$$G_\Sigma = B \delta \int_0^1 \rho_{см} X_{H_2} w_x d\xi, \quad (5)$$

где B — ширина пластины, м;

ξ_{f1} , ξ_{f2} , ξ_{e1} , ξ_{e2} — безразмерные координаты, при которых массовые концентрации водорода равны нижнему и верхнему концентрационным пределам горения, а также нижнему и верхнему концентрационным пределам детонации соответственно;

$\rho_{см}$ — плотность смеси водорода и воздуха, кг/м³;

w_x — локальная проекция скорости потока на ось x , м/с;

ξ — безразмерная координата вдоль оси y ; $\xi = y/\delta$.

Используя уравнение состояния смеси и выражив газовую постоянную смеси через массовые концентрации компонентов, уравнения (3)–(5) в случае постоянства температуры и давления смеси можно привести к виду:

$$G_f = A \int_{\xi_{f1}}^{\xi_{f2}} \frac{X_{H_2}}{(v_B - v_{H_2}) X_{H_2} + v_{H_2}} \omega d\xi; \quad (6)$$

$$G_e = A \int_{\xi_{e1}}^{\xi_{e2}} \frac{X_{H_2}}{(v_B - v_{H_2}) X_{H_2} + v_{H_2}} \omega d\xi; \quad (7)$$

$$G_\Sigma = A \int_0^1 \frac{X_{H_2}}{(v_B - v_{H_2}) X_{H_2} + v_{H_2}} \omega d\xi, \quad (8)$$

где $A = p v_B v_{H_2} B \delta w_0 / (R_\mu T)$;

p — давление, Па;

v_B , v_{H_2} — молекулярные массы воздуха и водорода соответственно, кг/кмоль;

R_μ — универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T — температура, К;

ω — безразмерная скорость; $\omega = w_x / w_0$.

Найдем коэффициенты участия водорода в горении и взрыве по формулам (1) и (2).

В первом приближении рассмотрим эталонный диффузионный слой без учета влияния ддува на профили скоростей и плотностей по поперечному сечению пограничного слоя.

При использовании тройной аналогии Рейнольдса [5]

$$\omega = \omega_0 = \bar{X}_{H_2} = \frac{X_{H_2,w} - X_{H_2}}{X_{H_2,w} - X_{H_2,o}}, \quad (9)$$

где $\bar{X}_{H_2}$ — безразмерная концентрация водорода;

$X_{H_2,w}$, $X_{H_2,o}$, X_{H_2} — массовые концентрации водорода соответственно на стенке, на внешней границе пограничного слоя и в текущем сечении пограничного слоя;

ω_0 — безразмерная скорость в эталонном пограничном слое.

Безразмерная скорость в эталонном пограничном слое ω_0 определяется по формулам:

- для ламинарного пограничного слоя [5]:

$$\omega_0 = \bar{X}_{H_2} = 2\xi - 2\xi^3 + \xi^4; \quad (10)$$

- для турбулентного пограничного слоя [5]:

$$\omega_0 = \bar{X}_{H_2} = \xi^{1/7}. \quad (11)$$

Из уравнений (9)–(11) массовая концентрация водорода на расстоянии ξ от стенки рассчитывается по выражениям:

- для ламинарного пограничного слоя:

$$X_{H_2} = X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) \times (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4); \quad (12)$$

- для турбулентного пограничного слоя:

$$X_{H_2} = X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}). \quad (13)$$

Подставляя выражение (12) в уравнения (6)–(8), получаем для ламинарного пограничного слоя:

$$G_f = A \int_{\xi_{f1}}^{\xi_{f2}} [X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4)] \times \{ (v_w - v_{H_2}) [X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) \times (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4)] + v_{H_2} \}^{-1} (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4) d\xi; \quad (14)$$

$$G_e = A \int_{\xi_{e1}}^{\xi_{e2}} [X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4)] \times \{ (v_w - v_{H_2}) [X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) \times (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4)] + v_{H_2} \}^{-1} (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4) d\xi; \quad (15)$$

$$G_\Sigma = A \int_0^1 [X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4)] \times \{ (v_w - v_{H_2}) [X_{H_2,w} - (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) \times (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4)] + v_{H_2} \}^{-1} (2\xi - 2\xi^3 + \xi^4) d\xi. \quad (16)$$

Подставляя выражение (13) в уравнения (6)–(8), получаем для турбулентного пограничного слоя:

$$G_f = A \int_{\xi_{f1}}^{\xi_{f2}} [X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o})] [(v_w - v_{H_2}) \times X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) + v_{H_2}]^{-1} \xi^{1/7} d\xi; \quad (17)$$

$$G_e = A \int_{\xi_{e1}}^{\xi_{e2}} [X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o})] [(v_w - v_{H_2}) \times X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) + v_{H_2}]^{-1} \xi^{1/7} d\xi; \quad (18)$$

$$G_\Sigma = A \int_0^1 [X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o})] [(v_w - v_{H_2}) \times X_{H_2,w} - \xi^{1/7} (X_{H_2,w} - X_{H_2,o}) + v_{H_2}]^{-1} \xi^{1/7} d\xi. \quad (19)$$

Интегралы (14)–(19) решены численным способом по формуле трапеций [6].

Результаты расчетов

Используя выражения (14)–(19), можно найти коэффициенты участия массы водорода в горении и взрыве (см. формулы (1) и (2)).

Зависимости концентрации водорода по толщине диффузионного пограничного слоя представлены на рис. 2.

Доли суммарного количества массового расхода водорода, проходящего через поперечное сечение

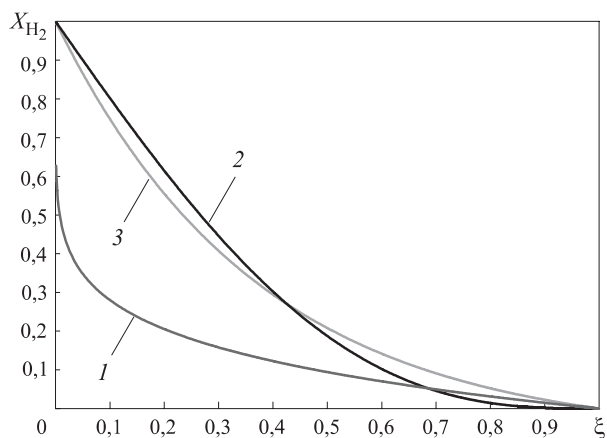


Рис. 2. Профиль массовых концентраций водорода по толщине пограничного слоя: 1 — турбулентный режим; 2 — ламинарный режим; 3 — стационарная диффузия [3]

пограничного слоя, которые приходятся на горючие и взрывоопасные водородно-воздушные смеси, составляют:

- для ламинарного пограничного слоя: $z_f = 0,37$; $z_e = 0,18$;
- для турбулентного пограничного слоя: $z_f = 0,63$; $z_e = 0,31$.

При стационарной концентрационной диффузии водорода в воздухе $z_f = 0,27$; $z_e = 0,13$ [3].

Таким образом, при конвекции коэффициенты участия водорода в горении и взрыве существенно выше, чем только при диффузии.

Выводы

Аналитическое решение модельной задачи распространения водорода в пограничном слое при конвекции на открытой поверхности испаряющегося жидкого водорода или емкости с газообразным водородом показывает, что:

- при ламинарном режиме обтекания 37 % всей массы водорода образуют горючую водородно-воздушную смесь и 18 % — взрывоопасную смесь;
- при турбулентном режиме 63 % всей массы водорода образуют горючую водородно-воздушную смесь и 31 % — взрывоопасную смесь.

Для более точной оценки коэффициента участия водорода во взрыве необходимо учитывать трехмерную нестационарную конвекцию, возникающую при натекании водорода в помещение, например, по методам расчета, предложенным в [2, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 34 с.

2. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
3. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Воробьев Н. С. Модельная задача определения коэффициентов участия водорода в горении и взрыве // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 16–18.
4. Пузач С. В. Математическое моделирование тепломассообмена в гидридном аккумуляторе водорода при пожаре // Теплофизика высоких температур. — 1999. — Т. 37, № 2. — С. 319–325.
5. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1968. — 720 с.
7. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room // International Journal of Hydrogen Energy. — 2003. — No. 28. — P. 1019–1026.

Материал поступил в редакцию 17 марта 2014 г.

English

COEFFICIENTS OF HYDROGEN COMBUSTION AND EXPLOSION IN CASE OF LAMINAR AND TURBULENT CONVECTION ON A HORIZONTAL PLATE

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

LEBEDCHENKO O. S., Candidate of Juridical Sciences, Docent, Associated Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

BOLDYREV E. N., Senior Lecturer of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

A model task of propagation of hydrogen in air at laminar or turbulent convection on a horizontal surface through which hydrogen accumulates at her blowing a stream of air is considered. This case is equivalent to a wind or blowing fan over evaporating surface of liquid hydrogen or exposed surface of the container with hydrogen gas (for example, hydrogen hydride battery) with equal pressure inside the outer.

A mathematical model for calculating the concentration distribution of hydrogen over the cross section of the boundary layer is proposed. Analytical formulas for determining the proportion of the mass flow rate of hydrogen that come on flammable and explosive hydrogen-air mixtures are obtained.

It is found that 37 % of the mass of hydrogen entering the air are flammable hydrogen-air mixture, and 18 % — an explosive mixture in the case of the laminar boundary layer and 63 % of the mass of hydrogen forms an ignitable a hydrogen-air mixture, and 31 % — an explosive mixture during turbulent regime.

For a more accurate estimate of the coefficient of participation in the burning and the explosion of hydrogen it is necessary to consider the three-dimensional non-stationary convection that occurs when the leakage of hydrogen into space takes place.

Keywords: hydrogen; burning; explosion; participation coefficients; convection; boundary layer.

REFERENCES

1. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard.* Order of Emercom of Russia on 25.03.2009. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 34 p. (in Russian).

2. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems of fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia, 2005. 336 p.
3. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Vorobyev N. S. Modelnaya zadacha opredeleniya koeffitsientov uchastiya vodoroda v gorenii i vzryve [A model problem of determining the coefficients of participation of hydrogen in combustion and explosion]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 16–18.
4. Puzach S. V. Matematicheskoye modelirovaniye teplomassoobmena v gidridnom akkumulyatore vodoroda pri pozhare [Mathematical modeling of heat and mass transfer in the hydride hydrogen storage in case of fire]. *Teplofizika vysokikh temperatur — High Temperature*, 1999, vol. 37, no. 2, pp. 319–325.
5. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer]. Moscow, Atomizdat, 1979. 416 p.
6. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 720 p.
7. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2003, no. 28, pp. 1019–1026.



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

Д. В. ТРУШКИН, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве ФГБОУ ВПО “Московский государственный строительный университет” (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: trdmv@mail.ru)

УДК 691.001.4:006.354

ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ.

Часть 2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИНЯТЫХ В РОССИИ И СТРАНАХ ЕВРОСОЮЗА*.

Определение воспламеняемости, дымообразующей способности, способности к распространению пламени по поверхности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов

Во второй половине статьи дан подробный сравнительный анализ российской и европейской классификационных систем по оценке воспламеняемости, распространения пламени, дымообразующей способности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов, а также методов испытаний, которые используются при проведении классификации. Проанализированы преимущества и недостатки каждой из классификационных систем. Проведена оценка возможности сопоставления результатов испытаний по российским и европейским методам на основе анализа огневых моделей и критериев, используемых для оценки пожарной опасности.

Ключевые слова: пожарная опасность строительных материалов; классификационные показатели; стандартные методы испытаний; воспламеняемость; распространение пламени по поверхности; дымообразующая способность; опасные факторы пожара.

3. Определение дымообразующей способности

В российской методологии дымообразующая способность строительных материалов (СМ) определяется по методу ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.18) [11]. В европейской методологии дымообразующая способность определяется как дополнительный параметр в методе EN 13823:2010 [5] (для СМ, исключая напольные) и в методе EN ISO 9239-1:2010 [12] (для напольных СМ).

Как в российской, так и в европейской методологиях критерием дымообразующей способности СМ является оптическая плотность среды, в которой рассеивается дымовой аэрозоль, образующийся при горении СМ.

В табл. 6 приведены классификационные параметры, используемые в российской и европейской методологиях для определения дымообразующей способности, в табл. 7 — сравнение количественных критериев этих классификационных параметров.

Необходимо отметить, что, несмотря на внешнюю схожесть формул по определению дымообразующей способности в российском [11] и европей-

ском [12] методах, основанных на законе Бугера применительно к среде, в которой вследствие задымления наблюдается рассеяние проходящего света, получение объективного соответствия между вышеуказанными классификационными параметрами является очень сложной технической задачей. Это связано, в первую очередь, с принципами регистрации классификационных параметров (в динамике или по экстремальному значению), а также с применением различных источников и приемников света с разным спектральным составом и спектральной чувствительностью.

4. Определение воспламеняемости

В российской методологии способность СМ к воспламенению определяется по методу ГОСТ 30402–96 [13], согласно которому для воспламенения предусматривается малокалорийный источник зажигания при воздействии на образец внешнего лучистого теплового потока заданной плотности.

В европейской методологии способность СМ к воспламенению определяется по методу EN ISO 11925-2 [10], в котором в качестве источника зажигания используется малокалорийный тепловой источник без воздействия дополнительного внешнего теплового потока. В этом же методе оценивается

* Окончание. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, № 12 за 2012 г. и № 4 за 2014 г.

Таблица 6. Классификационные параметры, используемые в России и Евросоюзе для определения дымообразующей способности СМ

Страна	Метод испытания	Классификационный параметр	Условия проведения испытания
Россия	ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.18) [11]	Коэффициент дымообразования D_m, м²/кг: $D_m = \frac{V_0}{mL_0} \ln \left[\frac{I_0}{I_{\min}} \right],$ где V_0 — объем испытательной (дымовой) камеры, м³; $V_0 \approx 0,5$ м³; m — начальная масса образца, кг; L_0 — длина фотометрического пути через измерительный участок (дымовую камеру), м; $L_0 \approx 0,8$ м; I_0 — сигнал от светоприемника, соответствующий 100 %-ному светопропусканию (при отсутствии задымления); $I_{\min}$ — сигнал от светоприемника, зарегистрированный во время проведения испытаний и соответствующий минимальному значению светопропускания (при наличии задымления)	При проведении испытаний учитывается только максимальное количество дыма, выделяемое единицей массы образца в заданном (постоянном) объеме дымовой камеры. Источник света — гелий-неоновый лазер. Требования к спектральной чувствительности фотоприемника не предъявляются. Измерение динамики светопропускания в течение времени испытания (до достижения минимальной величины светопропускания в дымовой камере) не проводится; общее время испытания не фиксируется. Начальная масса образца подбирается таким образом, чтобы обеспечить минимальное светопропускание $I_{\min}$ в дымовой камере от 2 до 90 % от начального значения светопропускания I_0. Коэффициент дымообразования D_m приводится к начальной массе образца; при этом реальная потеря массы образца на образование продуктов термического разложения, в том числе дымовых частиц, никак не учитывается
Евро-союз	EN 13823 (SBI) [5]	TSP (Δt_0) (total smoke production) — суммарное количество образовавшегося дыма за заданный интервал времени Δt_0; SMOGRA (smoke growth rate index) — показатель максимальной скорости дымообразования (расчетная величина: $\text{SMOGRA} = f(\text{SPR}, \text{TSP})$); SPR($t$) (smoke production rate) — интенсивность дымообразования образцов в заданный момент времени t: $\text{SPR}(t) = \frac{V(t)}{L} \ln \left[\frac{I_0}{I(t)} \right] - \text{SPR}_{\text{гор}},$ $V(t)$ — объемный поток, формируемый вытяжной вентиляционной системой установки в произвольный момент испытания t, м³/с; L — длина фотометрического пути через измерительный участок (трубу с внутренним диаметром 315 мм); $L = 0,315$ м; I_0 — сигнал от светоприемника до начала испытаний (при отсутствии задымления), мВ; $I(t)$ — сигнал от светоприемника в произвольный момент времени t проведения испытаний (при наличии задымления), мВ; $\text{SPR}_{\text{гор}}$ — интенсивность дымообразования при калибровке газовой горелки в отсутствие дымовыделения от образцов (фоновый параметр испытания), м²/с	Измерения проводятся в динамике, через каждые 3 с. Общее дымообразование за заданный интервал времени TSP (Δt_0) определяется как сумма измерений параметров SPR(t). Источник света — белый (лампа с нитью накала и температурой цвета излучения (2900 ± 100) К). Лампа должна работать от стабилизированного источника постоянного тока, стабильность которого должна быть в пределах $\pm 0,5$ % (включая кратковременную и долговременную стабильность температуры). Используется приемник света со спектральной чувствительностью

Страна	Метод испытания	Классификационный параметр	Условия проведения испытания
Евро-союз	EN ISO 9239-1 [12]	Дымообразующая способность образца, критерием которой является интеграл светопоглощения среды (плотности образующегося дыма) I_{int} за время испытания τ_0, определяемый по формуле $I_{\text{int}}(\tau_0) = \int_0^{\tau_0} I(\tau) d\tau \text{ (\%}\cdot\text{мин)},$ где I — степень светопоглощения, %. $I(0) = 0 \%$ (0 % светопоглощения соответствует незадымленной (чистой) среде)	Источником света является лампа накаливания. Температура лампы накаливания $(2900 \pm 100) \text{ K}$. Лампа света должна быть подключена к стабилизированному источнику постоянного тока, стабильному в пределах $\pm 0,5 \%$ (включая кратковременную и долговременную стабильность температуры). Приемник света в соответствии с требованиями CIE (International Commission on Illumination) должен иметь соответствующую чувствительность; функция $V(k)$ (фотооптические кривые CIE) должна иметь точность минимум $\pm 5 \%$. Измерения оптической плотности среды в вытяжном трубопроводе должны фиксироваться во время испытания или непрерывно, или с интервалами не более 10 с

Таблица 7. Сравнение количественных критериев классификационных параметров ГОСТ 12.1.044–89, EN 13823 и EN ISO 9239-1, определяющих степень пожарной опасности СМ по дымообразующей способности

Россия	Евросоюз	
ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.18) [11]	EN 13823 (SBI) [5] (кроме напольных СМ)	EN ISO 9239-1 [12] (для напольных СМ)
Д1 ($D_m < 50 \text{ м}^2/\text{кг}$);	s1 ($\text{SMOGR} \leq 30 \text{ м}^2/\text{с}^2$, $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 50 \text{ м}^2$);	s1 — “дым” ($I_{\text{int}} \leq 750 \text{ \%}\cdot\text{мин}$);
Д2 ($50 \leq D_m \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$);	s2 ($\text{SMOGR} \leq 180 \text{ м}^2/\text{с}^2$, $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 200 \text{ м}^2$);	s2 не означает s1
Д3 ($D_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$)	s3 не равно s1 и s2	

Таблица 8. Классификационные параметры, используемые в России и Евросоюзе для определения воспламеняемости СМ

Классификационные параметры		Характерные методологические отличия
ГОСТ 30402–96 [13] (Россия)	EN 11925-2 [10] (Евросоюз)	
Критическая поверхностная плотность теплового потока* $q_{\text{воспл}}^{\text{кр}}, \text{ кВт}/\text{м}^2$	Распространение пламени по образцу F_s , мм, за время 60 с после прекращения огневого воздействия при экспозиции последнего 15 с (для классов E, B_{fl} , C_{fl} , D_{fl} , E_{fl}), 30 с (для классов B, C, D)	Существенным недостатком российской классификации СМ по воспламеняемости является то, что в ней не учитывается время воспламенения образца при заданном тепловом потоке, регистрируемое в условиях испытаний [13]. Это существенно осложняет задачу определения реальной способности СМ к воспламенению от малокалорийных источников зажигания при возникновении пожара, когда внешние тепловые потоки или отсутствуют, или имеют незначительную плотность. Метод [13] позволяет в данном случае объективно оценивать воспламенение только в стадии уже развившегося пожара, когда имеет место длительное воздействие тепловых потоков от внешних источников. Основное преимущество метода [10] — простое, надежное и мало затратное определение класса наиболее пожароопасных СМ. В российской методологии, напротив, имеется необходимость даже для тех СМ, которые очевидно попадают в класс пожарной опасности КМ5 по одному из показателей, проводить испытания и по другим показателям. Например, согласно требованиям табл. 27 [6] для отделочных панелей на основе обычной (неогнезащищенной) древесины требуется всегда проводить четыре испытания: на горючесть, воспламеняемость, дымообразующую способность и токсичность продуктов горения

* Минимальная плотность теплового потока, при которой за время не более 15 мин наблюдается воспламенение.

способность испытываемого образца СМ самостоятельно распространять и поддерживать горение, а также образовывать горящие капли/частицы. Метод [10] позволяет выделить группы наиболее пожароопасных СМ, относящихся к классам пожарной опасности D-d2 и E, без проведения дополнительных трудоемких испытаний.

Классификационные параметры, которые используются в российской и европейской методологиях для определения воспламеняемости, а также их характерные методологические отличия приведены в табл. 8.

5. Определение способности к распространению пламени по поверхности

В российской методологии способность СМ к распространению пламени по поверхности определяется по методу ГОСТ Р 51032–97 [14], в европейской — по методу [12]. Как уже было сказано, европейский метод [12], кроме возможности измерения критической поверхностной плотности теплового потока, при которой наблюдается прекращение распространения пламени по поверхности, позволяет также определять дымообразующую способность испытываемого образца напольного покрытия (табл. 9).

Несмотря на то что и российский, и европейский методы основаны на одном и том же международном стандарте ISO 9239-1 [12], между ними имеются существенные различия в конструктивном исполнении источника лучистого теплового потока (радиационной панели). В методе [12] вся керамическая поверхность радиационной панели, нагреваемая газовой горелкой, является источником лучистого теплового потока, а в России во всех испытательных установках по методу [14] применяются трубчатые электронагреватели (ТЭН), распределение которых на поверхности радиационной

Евро- союз	E _{fl}	D _{fl}	C _{fl}	B _{fl} (A1 _{fl} , A2 _{fl})
Россия	0	3,0 4,5 5,0	РП4	РП3 РП2 РП1

Классификация напольных СМ по степени пожарной опасности в России и странах Евросоюза в зависимости от критической поверхностной плотности теплового потока q

панели подбирается из условия обеспечения в заданных точках нагреваемой (экспонируемой) поверхности калибровочного образца требуемой плотности теплового потока.

Вышеуказанные различия в конструктивном исполнении радиационной панели, применяемой в европейском [12] и российском [14] методах, по всей вероятности, являются основной причиной различий в классификации напольных СМ по способности к распространению пламени в России и Евросоюзе (см. рисунок). Скорее всего, это связано с тем, что при метрологической аттестации испытательных установок как по [12], так и по [14] учитывается только распределение плотности теплового потока на срединной линии образца в заданных точках, в то время как плотность теплового потока на других участках поверхности образца не контролируется. В случае различий в конструктивном исполнении радиационных панелей (излучательных поверхностей) это, очевидно, приводит к неодинаковым начальным условиям прогрева экспонируемой поверхности испытываемого образца, что обуславливает разные значения критической плотности теплового потока, при которых наблюдается прекращение распространения пламени.

Еще одним существенным различием двух методик испытаний являются условия поджигания испытываемого образца в “нулевой” зоне. В методе [14] поджигание осуществляется в “нулевой” зоне локально, в методе [12] — по всей его ширине, что, очевидно, также создает неравнозначные начальные условия инициирования процесса распространения пламени.

6. Определение токсичности продуктов сгорания

Основные принципы российской классификации СМ по токсичности продуктов сгорания и описание методики испытаний приведены в п. 4.20 [11], а также частично рассмотрены в первой части статьи [15].

В европейской методологии испытаний токсичность продуктов сгорания СМ не оценивается, и СМ по данному показателю пожарной опасности никак не классифицируются. Причины такого серьезного методологического отличия (если не сказать — недостатка), по-видимому, состоят в сложившихся

Таблица 9. Классификационные параметры, используемые в России и Евросоюзе для определения способности напольных СМ к распространению пламени по поверхности

Аналогичные классификационные параметры		Характерные методологические отличия
ГОСТ Р 51032–97 [14] (Россия)	EN ISO 9239-1 [12] (Евросоюз)	
Критическая поверхностная плотность теплового потока*		Возможность определения дымообразования в методе [12] (дополнительная классификация напольного СМ по дымообразующей способности s1 и s2)
$q_{распр}^{кр}$, кВт/м ²	CHF, кВт/м ²	
* Минимальная плотность теплового потока, при которой прекращается распространение пламени по поверхности.		

за рубежом взглядах на опасность данного фактора пожара.

Прогнозирование выделения токсичных продуктов на реальном пожаре по данным лабораторных испытаний, а также классификация материалов по степени токсичности продуктов сгорания представляют значительные трудности. Это обусловлено двумя основными обстоятельствами. Во-первых, вероятность отравления человека связана не только с количеством образующихся на пожаре токсичных продуктов сгорания (концентрацией токсиканта), но и с длительностью пребывания человека в опасной среде (токсической дозой). Во-вторых, удельный выход токсичных продуктов сгорания очень сильно зависит от температуры, значений внешних тепловых потоков и особенно от содержания кислорода воздуха, поступающего в зону горения, что точным образом учесть не представляется возможным.

С другой стороны, очевидно, что любая среда на пожаре является токсичной, и если вести речь о безопасности людей в начальной стадии развития пожара (до возникновения общей вспышки, когда пожар регулируется нагрузкой и развивается без недостатка окислителя), то образование большого количества высокотоксичных продуктов сгорания в этих условиях маловероятно, что подтверждается результатами как теоретических расчетов, так и натурных экспериментальных исследований.

Таким образом, с точки зрения здравого смысла неучет европейскими коллегами опасности от токсичных продуктов сгорания в начальной стадии по-

жара, возможно, не является таким уж существенным методологическим недостатком, а представляет собой вполне обоснованное решение, на что следует обратить внимание и российским разработчикам.

Выводы

Анализ российских и европейских методов испытаний строительных материалов на пожарную опасность показывает, что классификационные параметры, определяемые в условиях стандартных испытаний по двум различным методологиям, имеют принципиальные различия. Исключением (при некоторых допущениях) можно считать только испытания по ГОСТ Р 51032–97 [14] и EN ISO 9239-1 [12].

Существенным образом различаются между собой не только российские и европейские испытательные установки по конструктивному исполнению, но и принципы выбора критериальных значений классификационных параметров, устанавливающих степень пожарной опасности СМ.

Все это позволяет утверждать, что установить объективные зависимости между российскими и европейскими классами пожарной опасности без проведения дополнительных испытаний как для европейских СМ в России, так и для российских СМ в странах Евросоюза — весьма сложная техническая задача. И только решение этой задачи, в свою очередь, позволит разрешить серьезную проблему взаимного признания результатов по определению пожарной опасности СМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 1182. Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test. URL : <http://www.iso.org> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
2. ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. — Введ. 01.01.96 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996; Стандартинформ, 2006, 2008.
3. EN ISO 1716:2010. Reaction to fire tests for products — Determination of the gross heat of combustion (calorific value). URL : <http://www.en-standard.eu> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
4. EN ISO 1182:2010. Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test. URL : <http://www.en-standard.eu> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
5. EN 13823:2010. Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item. URL : <http://www.en-standard.eu> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федер. закона № 117-ФЗ от 10.07.2012 г.) : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
7. EN 13501-1:2007. Fire classification of construction products and building elements — Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. URL : <http://www.en-standard.eu> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
8. Трушкин Д. В., Аксенов И. М. Проблемы определения горючести строительных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — Т. 10, № 4. — С. 3–8.
9. Трушкин Д. В. Оценка пожарной опасности строительных материалов на основе анализа динамических характеристик. I. Оценка горючести и дымообразующей способности // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 6. — С. 32–37.

10. EN ISO 11925-2:2010. Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test. URL : <http://www.en-standard.eu> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
11. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Изд-во стандартов, 1989; ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2001.
12. EN ISO 9239-1:2010 Reaction to fire tests for floorings — Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source. URL : <http://www.en-standard.eu> (дата обращения: 05.12.2013 г.).
13. ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость. — Введ. 01.07.96 г. — М. : ГУП ЦПП, 1996.
14. ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени. — Введ. 01.01.97 г. — М. : Минстрой России, ГУП ЦПП, 1997.
15. Трушкин Д. В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 1. Основные принципы классификации строительных материалов по пожарной опасности, принятые в России и странах Евросоюза // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 25–31.

Материал поступил в редакцию 11 декабря 2013 г.

English

PROBLEMS OF CLASSIFICATION OF CONSTRUCTION MATERIALS ON FIRE HAZARD.

Part 2. COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL METHODS FOR FIRE HAZARD ASSESSMENT OF CONSTRUCTION MATERIALS, ACCEPTED IN RUSSIA AND THE EUROPEAN UNION COUNTRIES.

Determination of combustibility, flammability, flame spread, smoke production and toxicity of products of burning for construction materials

TRUSHKIN D. V., Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: trdmv@mail.ru)

ABSTRACT

The serious problem which limits a possibility to use of import construction materials (CM) in buildings with various functional purposes is mutual recognition of fire hazard test results for CM between the various countries.

At present time in world practice there is such situation that each developed country has own methodological approaches to an assessment of fire hazard of the construction materials, accepted, as national standards.

International Standard Organization (ISO) makes many attempts to unification of methodological approaches for assessment of fire hazard of construction materials by means of development of the international standards. This activity undoubtedly has results, so many of the countries develop its national standards on the basis of ISO, but this activity has no system character and goes rather slowly.

Now in the course of unification of test methods the countries of the European Union which have developed system of the interstate EN standards (European Norms) most promoted.

In this regard undoubted interest represents research of degree of compliance of the Russian and European methodologies of tests of CM on fire danger in aspect of possibility of comparison of results of tests without carrying out additional researches.

In the second part of this paper the detailed comparative analysis of the classification parameters determined in the Russian and European standard tests for an assessment of flammability, flame spread, smoke production and toxicity of products of burning is carried out. The classification

parameters which are using for definition of the above-mentioned fire characteristics in Russia and the European Union countries are considered, and also possibility of their comparison with each other when determining fire classes is analysed.

Keywords: fire hazard of construction materials; classification parameters; standard test methods; flammability; flame propagation; smoke production; fire hazard factors.

REFERENCES

1. *ISO 1182. Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test*. Available at: <http://www.iso.org> (Accessed 05.12.2013).
2. *Interstate Standard 30244–94. Building materials. Methods for combustibility test*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; Standartinform Publ., 2006, 2008 (in Russian).
3. *EN ISO 1716:2010. Reaction to fire tests for products — Determination of the gross heat of combustion (calorific value)*. Available at: <http://www.en-standard.eu> (Accessed 05.12.2013).
4. *EN ISO 1182:2010. Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test*. Available at: <http://www.en-standard.eu> (Accessed 05.12.2013).
5. *EN 13823:2010. Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*. Available at: <http://www.en-standard.eu> (Accessed 05.12.2013).
6. Technical regulations in fire safety requirements (red. Federal Law No. 117 on 10.07.2012). Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
7. *EN 13501-1:2007. Fire classification of construction products and building elements — Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*. Available at: <http://www.en-standard.eu> (Accessed 05.12.2013).
8. Trushkin D. V., Aksenov I. M. Problemy opredeleniya goryuchesti stroitelnykh materialov [Problems of definition of building materials combustibility]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2001, vol. 10, no. 4, pp. 3–8.
9. Trushkin D. V. Otsenka pozharnoy opasnosti stroitelnykh materialov na osnove analiza dinamicheskikh kharakteristik I. Otsenka goryuchesti i dymobrazuyushchey sposobnosti [Fire danger estimation of building materials based on analysis of dynamic characteristics. Part 1. Combustibility and smoke production ability]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 6, pp. 32–37.
10. *EN ISO 11925-2:2010. Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test*. Available at: <http://www.en-standard.eu> (Accessed 05.12.2013).
11. *Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001 (in Russian).
12. *EN ISO 9239-1:2010. Reaction to fire tests for floorings — Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source*. Available at: <http://www.en-standard.eu> (Accessed 05.12.2013).
13. *Interstate Standard 30402–96. Building materials. Ignitability test method*. Moscow, GUP TsPP Publ., 1996 (in Russian).
14. *State Standard of Russian Federation 51032–97. Building materials. Spread flame test method*. Moscow, Minstroy Rossii, GUP TsPP Publ., 1997 (in Russian).
15. Trushkin D. V. Problemy klassifikatsii stroitelnykh materialov po pozharnoy opasnosti. I. Osnovnyye printsipy klassifikatsii stroitelnykh materialov po pozharnoy opasnosti, prinyatyie v Rossii i stranakh Yevrosoyuza [Problems of classification of construction materials on fire hazard. Part 1. The basic principles of classification of construction materials on fire hazard, accepted in Russia and the European Union countries]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 25–31.

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАНКБ, старший научный сотрудник научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

Л. К. МАВЛЮТОВА, аспирант Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: mavly-lilya@mail.ru)

А. Ю. КОШЕЛЕВ, старший преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); соискатель Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: Alekshelev@mail.ru)

К. С. АЛЕКСЕЕВ, аспирант Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: brigalider@gmail.com)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

УДК 614.841.41:547.53

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. XII. АЛКИЛБЕНЗОЛЫ И ДИАЛКИЛБЕНЗОЛЫ

Изучена взаимосвязь химического строения и пожароопасных свойств в рядах алкил- и диалкилбензолов. Показано, что для этих соединений удовлетворительно работает углеродное правило, которое позволяет прогнозировать их физико-химические и пожароопасные показатели. Предложены эмпирические уравнения для расчета показателя преломления ($n_D = -(5 \cdot 10^{-6})(\text{УУЦ})^3 + 0,0002(\text{УУЦ})^2 - 0,0031(\text{УУЦ}) + 1,497$), температуры кипения ($T_{\text{кип}} = -0,486(\text{УУЦ})^2 + 26,039(\text{УУЦ}) + 359$), критической температуры ($T_{\text{кр}} = 0,024(\text{УУЦ})^3 - 1,151(\text{УУЦ})^2 + 28,048(\text{УУЦ}) + 565,1$), критического давления ($P_{\text{кр}} = -0,0075(\text{УУЦ})^3 + 0,3211(\text{УУЦ})^2 - 5,2444(\text{УУЦ}) + 45,018$), теплоты сгорания ($H_{\text{ср}} = 611,179(\text{УУЦ}) + 3116$), температуры вспышки ($T_{\text{всп}} = -0,283(\text{УУЦ})^2 + 17,481(\text{УУЦ}) + 261,7$; $T_{\text{всп}} = 124,3 + 0,0208(T_{\text{кип}})^{1,5}$), верхнего температурного предела воспламенения ($T_{\text{в}} = -0,344(\text{УУЦ})^2 + 20,155(\text{УУЦ}) + 291,8$) и верхнего концентрационного предела воспламенения ($C_{\text{в}} = 7,72 - 0,638(\text{УУЦ}) + 0,051(\text{УУЦ})^2 - 0,0022(\text{УУЦ})^3 + 3,71 \cdot 10^{-5}(\text{УУЦ})^4$, УУЦ — условная углеродная цепь).

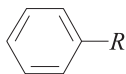
Ключевые слова: алкилбензол; диалкилбензол; температура вспышки; зависимость; прогноз; хемоинформатика.

В настоящей работе продолжено изучение взаимосвязи химического строения и пожароопасных свойств с использованием QSPR¹ и представлены результаты исследования в ряду алкилбензолов.

¹ QSPR (Quantitative Structure — Property Relationship) — процедура построения моделей в хемоинформатике, позволяющих по структурам химических соединений предсказывать их физико-химические и другие свойства. Хемоинформатика (химическая информатика, молекулярная информатика) — применение методов информатики для решения химических проблем. Используется для прогнозирования физических, химических и биологических свойств соединений и материалов, для поиска новых лекарственных препаратов, анализа спектральной информации, для предсказания хода химических реакций и планирования органического синтеза и т. п.

Алкилбензолы широко применяются в промышленности в производстве синтетических моющих средств, смазок и масел. В связи с высокими пожароопасными характеристиками данного класса соединений и их широким применением возникает необходимость разработки методов прогнозирования их пожаровзрывоопасности. Для многих алкилбензолов изостроения экспериментальные данные по показателям пожарной опасности весьма ограничены или отсутствуют совсем. В связи с этим методы прогнозирования индексов пожарной опасности, которые допускаются национальным стандартом [1] для оценки пожарной опасности веществ и материалов, являются удачным вариантом восполнения недостающих данных.

Алкилбензолы описываются следующей структурной формулой:



Представление бензольного кольца как функциональной группы позволяет рассматривать соединения **(1)** (рис. 1) как класс монозамещенных алканов, в котором действуют правило углеродной цепи и свойство функциональной группы [2–12].

Исходные данные для QSPR-исследования алкилбензолов **(1)** взяты из базы данных DIPPR 801 [13] (табл. 1). В нашем случае при нахождении основной углеродной цепи (ОУЦ) атомы углерода бензольного цикла не учитываются, так как считается, что они относятся к функциональной группе. Так, например, для толуола **(1)** ОУЦ равна 1, а для пропилбензола **(3)** — 3 (см. рис. 1).

В результате обработки данных табл. 1 выведены эмпирические уравнения (1)–(9) для расчета показателя преломления n_D , температуры кипения $T_{\text{кип}}$ (К), критической температуры $T_{\text{кр}}$ (К), критического давления $P_{\text{кр}}$ (атм), теплоты сгорания $H_{\text{сг}}$ (кДж/моль), температуры вспышки $T_{\text{всп}}$ (К), верхнего температурного ($T_{\text{в}}$) и концентрационного ($C_{\text{в}}$) пределов воспламенения алкилбензолов:

$$n_D = -(5 \cdot 10^{-6})(\text{ОУЦ})^3 + 0,0002(\text{ОУЦ})^2 - 0,0031(\text{ОУЦ}) + 1,497 \quad (r^2 = 0,9994); \quad (1)$$

$$T_{\text{кип}} = -0,486(\text{ОУЦ})^2 + 26,039(\text{ОУЦ}) + 359 \quad (r^2 = 0,9998); \quad (2)$$

$$T_{\text{кр}} = 0,024(\text{ОУЦ})^3 - 1,151(\text{ОУЦ})^2 + 28,048(\text{ОУЦ}) + 565,1 \quad (r^2 = 0,9997); \quad (3)$$

$$P_{\text{кр}} = -0,0075(\text{ОУЦ})^3 + 0,3211(\text{ОУЦ})^2 - 5,2444(\text{ОУЦ}) + 45,018 \quad (r^2 = 0,9992); \quad (4)$$

$$H_{\text{сг}} = 611,179(\text{ОУЦ}) + 3116 \quad (r^2 = 0,9999); \quad (5)$$

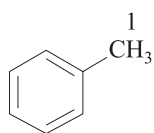
$$T_{\text{всп}} = -0,283(\text{ОУЦ})^2 + 17,481(\text{ОУЦ}) + 261,7 \quad (r^2 = 0,9995); \quad (6)$$

$$T_{\text{в}} = -0,344(\text{ОУЦ})^2 + 20,155(\text{ОУЦ}) + 291,8 \quad (r^2 = 0,9999); \quad (7)$$

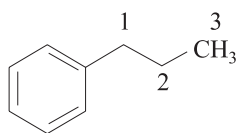
$$C_{\text{в}} = 7,72 - 0,638(\text{ОУЦ}) + 0,051(\text{ОУЦ})^2 - 0,0022(\text{ОУЦ})^3 + 3,71 \cdot 10^{-5}(\text{ОУЦ})^4 \quad (r^2 = 0,9991); \quad (8)$$

$$T_{\text{всп}} = 124,3 + 0,0208(T_{\text{кип}})^{1,5} \quad (r^2 = 0,9993). \quad (9)$$

Для нижних температурного ($T_{\text{н}}$) и концентрационного ($C_{\text{н}}$) пределов воспламенения и темпера-



(1)



(3)

Рис. 1. Метод определения ОУЦ в алкилбензолах **(1)** и **(3)**

туры самовоспламенения $T_{\text{свс}}$ удовлетворительной корреляции с ОУЦ не выявлено.

Результаты прогноза по уравнениям (1)–(9) представлены в табл. 1. Следует отметить, что для алкилбензолов **(1)**–**(18)** линейной зависимости температуры вспышки от температуры кипения, характерной для уравнения Орманди–Крэвена, не выявлено. Установлено, что она носит нелинейный характер и описывается формулой (9). Для сравнения приведены расчеты в программе “ChemBioDraw Ultra 2010”, входящей в состав программного пакета “ChemOffice 2010” (версия 12.0). Как видно из табл. 1, прогнозирование по формулам (1)–(9) и по правилу углеродной цепи не только не уступает методам расчета температуры кипения, критических температуры и давления программы “ChemBioDraw Ultra 2010”, но и во многих случаях дает более точные предсказания этих величин.

В табл. 2 приведены литературные и расчетные значения показателей физико-химических и пожароопасных свойств изоалкилбензолов **(19)**–**(22)**. Прогноз сделан расчетом по уравнениям (1)–(9) и с помощью правила углеродной цепи. При этом в формулы (1)–(8) вместо ОУЦ подставлялись значения условной углеродной цепи (УУЦ), которые определены по общим принципам, описанным ранее [2–12]. Обнаружено, что наличие 2-й метильной группы в α -положении не оказывает влияния на увеличение УУЦ. Подобное явление наблюдалось ранее в ряду нитроалканов [8]. Для сравнения также приведен прогноз параметров $T_{\text{кип}}$, $T_{\text{кр}}$ и $P_{\text{кр}}$, полученный с помощью программы “ChemBioDraw Ultra 2010”. Из табл. 2 видно, что расчетные методы этой программы дают неудовлетворительные прогнозы температуры кипения бензолов с изоалкильными заместителями.

При рассмотрении бензольного кольца в качестве функциональной группы (Ф) возможна ситуация, когда она разрывает молекулу углеводорода на две части с образованием соединений типа $R^1\text{--}\Phi\text{--}R^2$. Для алкилбензолов такое деление углеводородной цепи возможно по *орто*-, *мета*- и *пара*-положениям ароматического кольца (рис. 2). Фактически, такой подход позволяет рассматривать диалкилбензолы как соединения с одной функциональной группой.

Если наше допущение правомерно, то в ряду диалкилбензолов должны работать уравнения (1)–(9) и правило углеродной цепи. Для проверки этой версии в табл. 3 представлены литературные данные [13] и сравнительный прогноз физико-химических характеристик и показателей пожарной опасности диалкилбензолов **(23)**–**(41)**.

Как видно из табл. 3, уравнения (2)–(9) и правило углеродной цепи с приемлемой точностью рабо-

Таблица 1. Справочные и расчетные физико-химические и пожароопасные показатели *n*-алкилбензолов

<i>R</i> Номер	ОУЦ	$T_{кип}, K$	n_D	$T_{кр}, K$	$P_{кр}, атм$	$H_{сг},$ кДж/моль	$T_{всп}, K$	T_H, K	T_B, K	$T_{свс}, K$	$C_H, \%$	$C_B, \%$
CH_3 1	1	383,8 385 (386)	1,4940 1,4941	592 592 (617)	40,54 40,1 (40,6)	3734,0 3727,2	279 279 281	276	311 312	753	1,1	7,1 7,1
C_2H_5 2	2	409,4 409 408* (409)	1,4932 1,4916 1,4918*	617 617 615* (637)	35,62 35,8 36,1* (36,0)	4344,8 4338,4 4344,1*	296 296 296* 297	294 293*	331 331 330*	703	1,0 1,0*	6,7 6,6 6,7*
C_3H_7 3	3	432,4 433 433* (432)	1,4895 1,4894 1,4896*	638 640 639* (656)	31,58 32,0 32,1* (32,2)	4954,2 4949,5 4954,6*	312 312 313* 311	309 310*	349 349 349*	729	0,88 0,9*	6,2 6,2 6,3*
C_4H_9 4	4	456,5 455 456* (455)	1,4874 1,4875 1,4876*	661 660 659* (673)	28,52 28,7 28,6* (28,9)	5564,4 5560,7 5564,1*	329 327 326*	326 327*	367 367 367*	683	0,8 0,8*	5,8 5,9 5,9*
C_5H_{11} 5	5	478,6 477 478* (478)	1,4856 1,4859 1,4858*	680 680 680* (688)	25,70 25,9 26,0* (26,1)	6174,0 6171,9 6174,1*	339 342 343*	344 342*	385 384 384*	—	0,8 0,8*	5,5 5,6 5,6*
C_6H_{13} 6	6	499,3 498 499* (501)	1,4842 1,4845 1,4844*	698 697 697* (703)	23,49 23,5 23,6* (23,7)	6783,7 6783,1 6783,7*	356 356 355*	357 357*	401 400 401*	—	0,7 0,7*	5,3 5,3 5,3*
C_7H_{15} 7	7	519,3 517 518* (523)	1,4832 1,4834 1,4833*	714 713 714* (716)	21,51 21,5 21,7* (21,7)	7393,4 7394,3 7393,4*	371 370 368*	369 368*	416 416 416*	—	0,6 0,6*	5,1 5,1 5,1*
C_8H_{17} 8	8	537,6 536 537* (547)	1,4824 1,4824 1,4825*	729 728 728* (729)	19,93 19,8 20,1* (19,8)	8003,0 8005,4 8003,1*	380 383 385* 384	379 380*	431 431 431*	—	0,5 0,5*	4,9 4,9 4,9*
C_9H_{19} 9	9	555,2 554 554* (569)	1,4817 1,4817 1,4818*	741 742 741* (741)	18,70 18,4 18,7* (18,2)	8612,7 8616,6 8612,7*	398 396 395*	391 391*	445 445 445*	—	0,42 0,4*	4,7 4,7 4,8*
$C_{10}H_{21}$ 10	10	571,0 571 571* (592)	1,4811 1,4810 1,4812*	753 754 753* (752)	17,47 17,2 17,6* (16,8)	9222,3 9227,8 9222,4*	409 408 409*	402 407*	459 459 458*	—	0,38	4,6 4,6 4,6*
$C_{11}H_{23}$ 11	11	586,4 587 586* (615)	1,4807 1,4804 1,4807*	764 766 767* (762)	16,50 16,2 16,4* (15,6)	9832,0 9839,0 9832,0*	420 420 420*	423 418*	471 472 472*	—	0,6	4,4 4,5 4,5*
$C_{12}H_{25}$ 12	12	600,8 601 600* (638)	1,4803 1,4800 1,4804*	780 777 777* (771)	15,40 15,4 15,6* (14,4)	10441,7 10450,1 10441,7*	431 431 431*	423 433*	484 484 484*	—	0,32	4,3 4,4 4,3*
$C_{13}H_{27}$ 13	13	614,4 615 614* (661)	1,48 1,4795 1,4800*	790 788 790* (780)	14,61 14,6 14,6* (13,4)	11051,3 11061,3 11051,4*	442 441 441*	443 443*	496 496 495*	—	0,5	4,2 4,3 4,2*
$C_{14}H_{29}$ 14	14	627,2 628 627* (684)	1,4797 1,4791 1,4797*	800 798 800* (789)	13,82 14,0 13,9* (12,5)	11661,0 11672,5 11661,0*	451 451 451*	453 454*	506 507 507*	—	0,5 0,5*	4,1 4,2 4,1*

Окончание табл. 1

R Номер	ОУЦ	T _{кип} , К	n _D	T _{кр} , К	P _{кр} , атм	H _{сг} , кДж/моль	T _{всп} , К	T _н , К	T _в , К	T _{свс} , К	C _н , %	C _в , %
C ₁₅ H ₃₁ 15	15	639,2 640 639* (707)	1,4794 1,4786 1,4795*	809 808 809* (797)	13,13 13,3 13,2* (11,7)	12270,6 12283,7 12270,7*	460 460 460*	464 464*	517 517 517*	—	0,5 0,5* 0,5*	4,0 4,1 4,0*
C ₁₆ H ₃₃ 16	16	651,2 651 650* (729)	1,4792 1,4781 1,4792*	818 818 818* (807)	12,53 12,6 12,6* (11,0)	12880,3 12894,9 12897,9*	469 469 468* 470	475 475*	527 526 526*	—	0,5 0,5* 0,5*	3,9 4,0 4,0*
C ₁₇ H ₃₅ 17	17	661 662* (753)	1,4775 1,4790*	827 826* (817)	11,8 12,0* (10,3)	13506,0 13525,2*	477 477*	481*	535 535*		0,5*	3,9 3,8*
C ₁₈ H ₃₇ 18	18	673,2 670 (775)	1,4788	834 837 (827)	11,45 10,9 (9,7)	14170,0 14117,2	484 485 488	486	543 543	—	0,4	3,7 3,8

Примечания:

1. Курсивом выделены расчетные данные, курсивом и “*” — прогноз по правилу углеродной цепи.

2. В скобках приведен расчет по методам “ChemBioDraw Ultra 2010”.

3. Для C_н и C_в даны литературные значения при 373 К.

Таблица 2. Справочные и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства изоалкилбензолов

Соединение, номер (УУЦ)	T _{кип} , К	n _D	T _{кр} , К	P _{кр} , атм	H _{сг} , кДж/моль	T _{всп} , К	T _н , К	T _в , К	T _{свс} , К	C _н , %	C _в , %
Ph-CH(CH ₃) ₂ 19 (2,5)	425,6 421 421* (432)	1,4889 1,4904 1,4907*	631 628 627* (642)	31,67 32,0 32,1* (32,5)	4951,0 4949,5 4954,6*	309 304 307 304*	304 301*	344 340 340*	697	0,88 0,9*	6,5 6,2 6,3*
Ph-CH ₂ CH(CH ₃) ₂ 20 (3,5)	445,9 444 444* (454)	1,484 1,4884 1,4886*	650 650 649* (660)	30,10 28,7 28,6* (29,2)	5558,0 5560,7 5564,1*	325 319 320 319*	317 318*	359 358 358*	701	0,8 0,8*	6 6,4 6,1*
Ph-CH(CH ₃)CH ₂ CH ₃ 21 (3,5)	446,5 444 444* (454)	1,4878 1,4884 1,4886*	664 650 649* (660)	29,11 28,7 28,6* (29,2)	5561,4 5560,7 5564,1*	325 319 321 319*	318 318*	362 358 358*	691	0,8 0,8*	6,9 6,4 6,1*
Ph-C(CH ₃) ₃ 22 (3,5)	442,3 444 444* (452)	1,4902 1,4884 1,4886*	660 650 649* (658)	29,31 28,7 28,6* (29,5)	5557,1 5560,7 5564,1*	317 319 318 319*	315 318*	355 358 358*	723	0,8 0,8*	5,8 6,4 6,1*

Примечания:

1. Ph — фенил.

2. Курсивом выделены расчетные данные, курсивом и “*” — прогноз по правилу углеродной цепи.

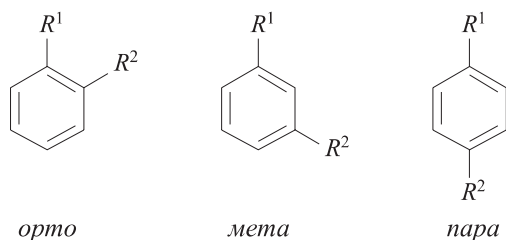
3. При прогнозировании P_{кр}, H_{сг} и концентрационных пределов воспламенения расчет выполнен не по УУЦ, а по ОУЦ. Для соединения (22) прогноз H_{сг} осуществлен аналогично изоалкилбензолам (20) и (21).

Рис. 2. Типы разрыва углеродной цепи функциональной группой Ф

тают в ряду диалкилбензолов (23)–(40). Исключение составляет показатель преломления, расчетные значения которого по уравнению (1) и правилу углеродной цепи плохо согласуются с литературными данными [13]. Неудовлетворительный прогноз физико-химических и пожароопасных свойств наблюдается для пара-дитретбутилбензола (41).

УУЦ соединения (41) определена в соответствии с ранее установленным алгоритмом [1–11], со-

Таблица 3. Справочные и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства диалкилбензолов

R^1	R^2	$T_{кип}, K$	n_D	$T_{кр}, K$	$P_{кр}, атм$	$H_{сг},$ кДж/моль	$T_{всп}, K$	T_H, K	T_B, K	$T_{свс}, K$	$C_H, \%$	$C_B, \%$
Номер (УУЦ)												
Орто-диалкилбензолы												
CH ₃	CH ₃	417,6 421 421* (414)	1,5030 1,4904 1,4907*	630 628 627* (636)	36,83 35,8 36,1* (35,4)	4333,0 4338,4 4344,1*	305 304 302 304*	302 301*	337 340 340*	736	1,1 0,9*	6,4 6,4 6,5*
CH ₃	C ₂ H ₅	438,3 444 444* (437,2)	1,5021 1,4884 1,4886*	650 650 649* (654)	32,47 32,0 32,1* (31,6)	4946,1 4949,5 4954,6*	316 319 315 319*	315 318*	352 358 358*	713	0,9 0,8*	5,8 6,0 6,1*
C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	456,6 455 456* (460)	1,5011 1,4875 1,4876*	668 660 659* (672)	28,42 28,7 28,6* (28,5)	5559,3 5560,7 5564,1*	330 327 327 326*	327 327*	366 367 367*	668	0,8 0,8*	5,4 5,9 5,9*
CH ₃	C ₃ H ₇	458,0 455 456* (460)	1,4974 1,4875 1,4876*	662 660 659* (672)	29,02 28,7 28,6* (28,5)	5555,4 5560,7 5564,1*	329 327 327 326*	327 327*	366 367 367*		0,8 0,8*	5,4 5,9 5,9*
CH ₃	CH(CH ₃) ₂	451,3 455 456* (460)	1,4983 1,4875 1,4876*	657 660 659* (659)	28,62 28,7 28,6* (28,7)	5554,8 5560,7 5564,1*	323 327 327 326*	320 327*	359 367 367*		0,8 0,8*	5,1 5,9 5,9*
C ₂ H ₅	CH(CH ₃) ₂	466,2 466 467* (483)	1,4866 1,4866*	666 670 669* (675)	26,35 25,9 26,0* (26,0)	6164,0 6171,9 6174,1*	334 335 334 334*	331 334*	371 376 376*		0,7 0,8*	4,7 5,7 5,7*
Мета-диалкилбензолы												
CH ₃	CH ₃	412,3 409 408* (414)	1,4946 1,4916 1,4918*	617 617 615* (636)	34,95 35,8 36,1* (35,4)	4331,8 4338,4 4344,1*	298 296 298 296*	298 293*	333 331 330*	738	1,1 1,0*	6,4 6,6 6,7*
CH ₃	C ₂ H ₅	434,5 433 433* (437)	1,4941 1,4894 1,4894*	637 640 639* (655)	31,09 32,0 32,1* (31,6)	4943,8 4949,5 4954,6*	311 312 313 313*	311 310*	350 349 349*	753	0,9 0,9*	6,1 6,2 6,3*
C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	454,3 455 456* (460)	1,4931 1,4875 1,4876*	663 660 659* (672)	28,42 28,7 28,6* (28,5)	5554,3 5560,7 5564,1*	329 327 327 326*	325 327*	365 367 367*	723	0,8 0,8*	5,6 5,9 5,9*
CH ₃	C ₃ H ₇	455,0 455 456* (460)	1,4912 1,4875 1,4876*	654 660 659* (672)	27,73 28,7 28,6* (28,5)	5551,6 5560,7 5564,1*	328 327 327 326*	325 327*	366 367 367*		0,8 0,8*	5,6 5,9 5,9*
CH(CH ₃) ₂	CH(CH ₃) ₂	476,3 477 478* (505)	1,4875 1,4859 1,4858*	684 680 680* (679)	24,18 23,5 23,6* (23,8)	6770,0 6783,1 6783,7*	350 342 341 343*	339 342*	377 384 384*	722	0,7 0,5*	4,3 5,6 5,6*
пара-диалкилбензолы												
CH ₃	CH ₃	411,5 409 408* (414)	1,4933 1,4916 1,4918*	616 617 615* (636)	34,65 35,8 36,1* (35,4)	4333,0 4338,4 4344,1*	299 296 298 296*	297 293*	333 331 330*	801	1,1 1,0*	6,6 6,6 6,7*

R^1	R^2	$T_{кип}, K$	n_D	$T_{кр}, K$	$P_{кр}, атм$	$H_{сг},$ кДж/моль	$T_{всп}, K$	T_H, K	T_B, K	$T_{свс}, K$	$C_H, \%$	$C_B, \%$
Номер (УУЦ)												
CH_3	C_2H_5	435,2	1,4924	640	31,88	4942,7	312					
35 (3)		433	1,4894	640	32,0	4949,5	312	312	350	748	0,9	6
		433*	1,4894*	639*	32,1*	4954,6*	313	310*	349		0,9*	6,2
		(437)		(655)	(31,6)		313*	310*	349*			6,3*
C_2H_5	C_2H_5	456,9	1,4925	658	27,66	5555,3	330					
36 (4)		455	1,4875	660	28,7	5560,7	327	327	369	703	0,8	6,1
		456*	1,4876*	659*	28,6*	5564,1*	327	327*	367		0,8*	5,9
		(460)		(672)	(28,5)		326*	327*	367*			5,9*
CH_3	C_3H_7	456,5	1,4898	656	27,73	5552,8	329					
37 (4)		455	1,4875	660	28,7	5560,7	327	326	366		0,8	5,5
		456*	1,4876*	659*	28,6*	5564,1*	327	327*	367		0,8*	5,9
		(460)		(672)	(28,5)		326*	327*	367*			5,9*
C_2H_5	$C(CH_3)_3$	483,7	1,4933	684	23,49	6767,0	346					
38 (5)		477	1,4859	680	23,5	6783,1	342	345	383	553	0,7	4,2
		478*	1,4858*	680*	23,6*	6783,7*	347	342*	384		0,5*	5,6
		(503)		(689)	(23,8)		343*	342*	384*			5,6*
$CH(CH_3)_2$	$CH(CH_3)_2$	483,7	1,4876	689	24,18	6770,0	350					
39 (5)		477	1,4859	680	23,5	6783,1	342	346	384	722	0,7	4,3
		478*	1,4858*	680*	23,6*	6783,7*	346	342*	384		0,5*	5,6
		(505)		(679)	(23,8)		343*	342*	384*			5,6*
$C(CH_3)_3$	$C(CH_3)_3$	510,4	1,4871	708	22,70	79596,8	365					
40 (6)		498	1,4845	697	19,8	8005,4	356	364	408	496	0,6	4,6
		499*	1,4844*	697*	20,1*	8003,1*	364	357	400		0,7*	5,3
		(545)		(706)	(20,2)		355*		401*			5,3*
41 (6,5)		510,4	1,4871	708	22,70	79596,8	365					
		508	1,4839	705	22,4*	8005,4	363	364	408	496	0,6	4,6
		509*	1,4839*	705*	22,7*	8003,1*	364	362	408		0,7*	5,2
		(545)		(706)	(20,2)		362*		408*			5,2*

Примечания:

1. Курсивом выделены расчетные данные, курсивом и “*” — прогноз по правилу углеродной цепи.
2. В скобках приведены расчетные данные, полученные с помощью “ChemBioDraw Ultra 2010”.
3. Жирным шрифтом выделены сомнительные литературные данные.
4. При прогнозировании $P_{кр}$ и $H_{сг}$ использовалась ОУЦ, а не УУЦ, и орто-эффект увеличения УУЦ на 0,5 не учитывался.
5. Для C_H и C_B указаны данные при 373 К.

гласно которому метильные заместители в боковых цепях увеличивают углеродную цепь не на 1, а на 0,5 (рис. 3). Однако если учесть, что *para*-дитретбутилбензол (**41**) в отличие от других диалкилбензолов (**23**)–(**40**) является твердым веществом с температурой плавления 78 °С (351 К), и ввести поправку на его агрегатное состояние (+0,5), то при УУЦ = 6,5 мы имеем хороший прогноз физико-химических и пожароопасных показателей соединения (**41**) (см. табл. 3).

Обнаружен эффект увеличения УУЦ на 0,5 для орто-соединений (**23**), (**24**) и (**27**). Необходимо от-

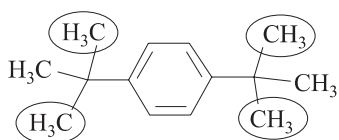


Рис. 3. Определение УУЦ в соединении (**41**)

метить, что он отсутствует у других орто-замещенных диалкилбензолов — (**25**), (**26**) и (**28**). Это обстоятельство может быть объяснено только различиями индуктивного действия алкильных заместителей. Известно, что индуктивный эффект в ряду алкильных групп снижается с увеличением числа атомов углерода, поэтому он незначителен для диалкилбензолов (**25**), (**26**) и (**28**). Для проверки этого предположения рассчитаны π -заряды ароматических атомов углерода с алкильными заместителями орто-диалкилбензолов (**23**)–(**28**) и (**42**)–(**45**) по расширенному методу Хюккеля с помощью программы “ChemBio 3D Ultra” программного комплекса “ChemOffice 2010”. Результаты расчетов представлены в табл. 4. Поскольку в орто-эффекте задействованы 2 бензольных атома углерода и 2 алкильных заместителя, то для его оценки взят усредненный π -заряд, равный отношению суммы π -зарядов атомов C_1 и C_2 к УУЦ.

Таблица 4. Значения π -зарядов и молекулярных дескрипторов для соединений (23)–(28)

Соединение	R^1	R^2	π -заряды		УУЦ	Сумма π -зарядов УУЦ	МТ	Индекс Винера	Гипериндекс Винера
			C_1	C_2					
23	CH ₃	CH ₃	0,0535	0,0535	2	0,0535	544	60	106
24	CH ₃	C ₂ H ₅	0,0491	0,0419	3	0,0303	760	86	167
27	CH ₃	CH(CH ₃) ₂	0,0519	0,0396	2,5	0,0366	992	114	231
25	CH ₃	C ₃ H ₇	0,0486	0,0412	4	0,0225	1048	121	263
26	C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	0,0501	0,0429	4	0,0233	1016	117	243
28	C ₂ H ₅	CH(CH ₃) ₂	0,0486	0,0360	4,5	0,0188	1288	150	322
42	C ₃ H ₇	C ₃ H ₇	0,0448	0,0430	6	0,0146	1744	206	505
43	CH ₃	C(CH ₃) ₃	0,0460	0,0383	4	0,0211	1240	144	298
44	CH(CH ₃) ₂	CH(CH ₃) ₂	0,0383	0,0359	5	0,0148	1600	188	416
45	C(CH ₃) ₃	C(CH ₃) ₃	0,0348	0,0251	6	0,0100	2296	273	625

Примечание. К атому углерода C_1 присоединен заместитель R^1 , а к атому C_2 — R^2 .

В данном случае применение в качестве делителя УУЦ вместо количества атомов углерода алкильных групп предпочтительно, поскольку это позволяет учесть изомеризацию заместителей. У соединений (23), (24) и (27) усредненный π -заряд самый большой и составляет более 0,0300. Можно также отметить у *орто*-диалкилбензолов (23), (24) и (27) самые маленькие значения молекулярного топологического дескриптора (МТ), индекса Винера и гипериндекса Винера² (см. табл. 4).

Свойство функциональной группы, которое заключается в том, что ее перемещение вдоль углеродной цепи молекулы не оказывает существенного влияния на изменение физико-химических и пожароопасных показателей, также действует в ряду диалкилбензолов (см. в табл. 3 (25)–(26), (31)–(32) и (36)–(37)).

В заключение отметим, что найденные эмпирические уравнения (1)–(9) и правило углеродной цепи могут быть использованы для прогнозирования неизвестных физико-химических параметров и показателей пожарной опасности моноалкил- и диалкилбензолов, а также для выявления ошибок в экспериментальных данных в этом ряду соединений.

² Молекулярные дескрипторы рассчитаны с помощью программ “ChemBio 3D Ultra” и “MarvinSketch”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М.: Изд-во стандартов, 1989; ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2001. URL: http://nsispb.ru/gost/12_1_044-89.htm (дата обращения: 07.12.2013 г.).
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
- Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.
- Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.

8. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
9. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
10. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 13–21.
11. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 9–19.
12. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 25–37.
13. База данных DIPPR 801. URL : <http://dippr.byu.edu/public/chemsearch.asp> (дата обращения: 10.10–19.11.2013 г.).

Материал поступил в редакцию 9 декабря 2013 г.

English

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE.

XII. ALKYL BENZENES AND DIALKYL BENZENES

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

MAVLYUTOVA L. K., Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: mavly-lilya@mail.ru)

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

ALEXEEV K. S., Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: brigalider@gmail.com)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Head of Chemistry Department, Ural State Agrarian University (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation); Senior Researcher, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

ABSTRACT

The correlation of chemical structure and fire-dangerous properties is studied in number of monoalkylbenzenes and dialkylbenzenes. The carbon rule well works for these compounds. The empirical equations of calculation are offered for refractive index $n_D = -(5 \cdot 10^{-6})(CCC)^3 + 0,0002(CCC)^2 - 0,0031(CCC) + 1,497$, boiling point ($TB(K) = -0,486(CCC)^2 + 26,039(CCC) + 359$), critical temperature ($T_c(K) = 0,024(CCC)^3 - 1,151(CCC)^2 + 28,048(CCC) + 565,1$), critical pressure ($P_c(atm) = -0,0075(CCC)^3 + 0,3211(CCC)^2 - 5,2444(CCC) + 45,018$), heat of combustion ($H_{comb}(kJ/mole) = 611,179(CCC) + 3116$), flash point ($FP(K) = -0,283(CCC)^2 + 17,481(CCC) + 261,7$; $FP(K) = 124,3 + 0,0208(TB(K))^{1,5}$), upper flammability limit temperature ($UFLT(K) = -0,344(CCC)^2 +$

+ 20,155(CCC) + 291,8) and upper flammability limit ($UFL(\%) = 7,72 - 0,638(CCC) + 0,051(CCC)^2 - 0,0022(CCC)^3 + 3,71 \cdot 10^{-5}(CCC)^4$, CCC is a conditional carbon chain).

Keywords: alkyl benzene; dialkyl benzene; flash point; dependence; prediction; cheminformatics.

REFERENCES

1. *Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination.* Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001. Available at: http://nsispb.ru/gost/12_1_044-89.htm (Accessed 7 December 2013) (in Russian).
2. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. I. Alkanoly [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. I. Alkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30.
3. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. II. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
4. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. III. Ketony (chast 2) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
5. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. IV. Prostyye efiry [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16.
6. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. V. Carboxylic acid]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46.
7. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37.
8. Alexeev K. S., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
9. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
10. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. IX. Khloralkany [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. IX. Chloroalkanes (part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
11. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. X. Slozhnyye efiry (chast 2) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. X. Esters (part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
12. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Kalach A. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. XI. Khloralkany [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. XI. Haloalkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 8, pp. 25–37.
13. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://dippr.byu.edu/public/chemsearch.asp> (Accessed 10 October – 19 November 2013).

В. М. ЕСИН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

С. П. КАЛМЫКОВ, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: k_sp@bk.ru)

УДК 614.841

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Проведены расчеты параметров системы противодымной защиты с использованием инженерной методики и аэродинамических схем здания. Выявлено различие результатов расчетов параметров системы противодымной защиты с использованием этих методик. Установлены факторы, влияющие на параметры вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий.

Ключевые слова: противодымная вентиляция; система противодымной защиты; дымоудаление; подпор воздуха; многоэтажные здания.

В настоящее время для расчетов требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий используются две инженерные методики — ВНИИПО [1] и НП АВОК [2]. Общим моментом методики [1] и инженерной части методики [2] является недостаточный учет взаимного влияния систем приточной и вытяжной противодымной вентиляции. Фактически системы дымоудаления, системы подпора воздуха в лестничные клетки и шахты лифтов рассматриваются независимо друг от друга. Это влияние особенно сильно должно проявляться на этаже пожара, где некоторые проемы в расчетах считаются открытыми.

В качестве иллюстрации рассмотрим схемы расчета параметров вентиляторов подпора воздуха в

незадымляемую лестничную клетку типа Н2 (рис. 1) и шахту лифта (рис. 2).

Расчеты параметров вентиляторов подпора воздуха в лестничную клетку и в шахты лифта проводятся независимо друг от друга и не учитывают их взаимного влияния. В большинстве реальных схем устройства лестнично-лифтовых узлов это допущение не соблюдается. В качестве примера рассмотрим схему первого этажа лестнично-лифтового узла жилого здания серии П-44-17, приведенную на рис. 3.

Для оценки погрешности использования инженерных методик, температуры удаляемого дыма и параметров наружного воздуха (холодный или теплый период года) были проведены расчеты полных аэродинамических схем зданий с использованием соответствующей методики. Рассмотрены аэродина-

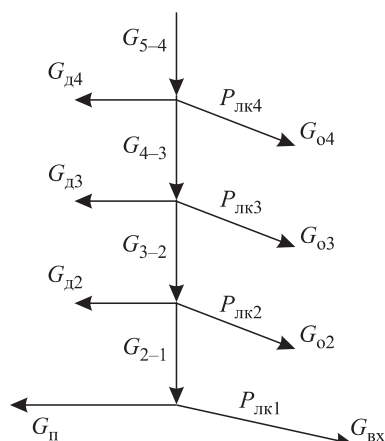


Рис. 1. Схема расчета вентилятора подпора в незадымляемую лестничную клетку типа Н2

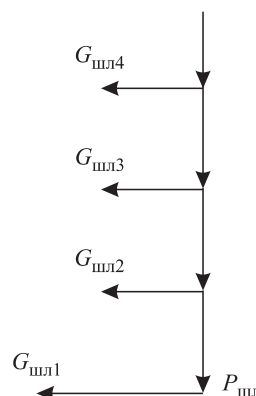


Рис. 2. Схема расчета вентилятора подпора в шахту лифта

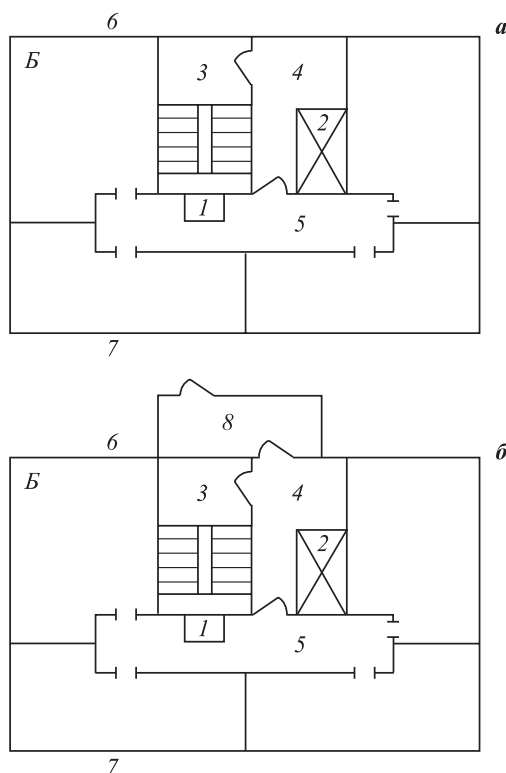


Рис. 3. Схема лестнично-лифтового узла на типовом (а) и первом (б) этажах здания серии П-44-17 (схема Б из [3]): 1 — шахта дымоудаления; 2 — шахта лифта; 3 — лестничная клетка; 4 — лестнично-лифтовой холл; 5 — коридор; 6 — заветренный (подветренный) фасад; 7 — наветренный фасад; 8 — тамбур

мические схемы типового и первого этажей здания. На рис. 3 представлены планировки этих этажей здания, а на рис. 4 — соответствующие им аэродинамические схемы. На схемах помещения здания заменены узлами, открытые и закрытые проемы — связями аэродинамической схемы.

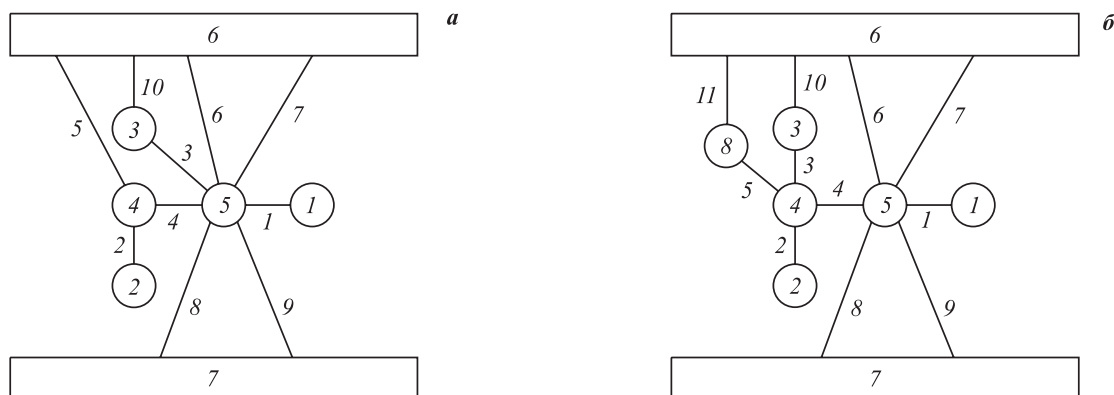


Рис. 4. Аэродинамическая схема типового (а) и первого (б) этажей (схема Б из [3]): узлы: 1 — шахта дымоудаления; 2 — шахта лифтов; 3 — лестничная клетка; 4 — лифтовой холл; 5 — поэтажный коридор; 6 — заветренный (подветренный) фасад; 7 — наветренный фасад; 8 — тамбур; связи схемы (а): 1 — закрытый клапан дымоудаления; 2 — закрытая дверь шахты лифта; 3 — закрытая дверь из лестничной клетки в коридор; 4 — закрытая дверь из лифтового холла в коридор; 5 — окно лестнично-лифтового холла; 6, 7 — закрытые двери квартир, выходящих на заветренный фасад; 8, 9 — закрытые двери квартир, выходящих на наветренный фасад; 10 — окно лестничной клетки; связи схемы (б): 1 — открытый клапан дымоудаления; 2 — открытая дверь шахты лифта; 3 — открытая дверь из лестничной клетки в коридор; 4 — закрытая дверь из лифтового холла в коридор; 5 — открытая дверь из лестнично-лифтового холла в тамбур; 6–10 — то же, что в схеме (а); 11 — открытая дверь наружу

Для каждого проема (связи аэродинамической схемы) записывается уравнение, связывающее расход газов через проем с перепадом давлений в этом проеме:

$$G_{i-j} = \text{sign}(P_j - P_i) \left[\frac{|P_j - P_i|}{S_k} \right]^{0.5}, \quad (1)$$

где G_{i-j} — расход воздуха или дыма в k -м проеме между j -м и i -м помещениями, кг/с;

P_j, P_i — давление соответственно в рассматриваемом (j -м) помещении и в смежном с ним (i -м) помещении или на фасаде, Па;

$\text{sign}(P_j - P_i)$ — знак разности давлений, равный -1 при $P_j < P_i$ и $+1$ при $P_j > P_i$;

S_k — характеристика воздухопроницаемости k -го проема, $1/(\text{кг} \cdot \text{м})$; $S_k = C_k / (2\rho)$;

ρ — плотность воздуха или дыма, проходящего через k -й проем, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход воздуха или дыма, входящего в рассматриваемое помещение, считается положительным, выходящего — отрицательным.

Для каждого помещения (узла аэродинамической схемы), давление в котором не задано, записывается уравнение баланса массы:

$$\sum G_k = 0. \quad (2)$$

В результате решения задачи определяются расходы через все связи аэродинамической схемы (открытые и закрытые проемы) и давления во всех узлах (помещениях здания). Подробно метод решения задачи изложен в разделе 6 [2].

Расчеты выполнены для схем лестнично-лифтовых узлов Б, В и Г из [3] в 15-этажном жилом здании с высотой этажа 3 м. Во всех случаях считалось, что пожар возник на первом этаже. Проведены расчеты

Таблица 1. Результаты расчетов для 15-этажного здания по первому варианту

Планировка, методика	Система дымоудаления		Подпор воздуха в лестничную клетку		Подпор воздуха в шахту лифта	
	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$
Инженерная методика	19682	–129	35946	71	21024	71
Б (аэродинамическая схема)	19568	–210	27401	164	4095	71
В (аэродинамическая схема)	19665	–201	36838	231	8146	71
Г (аэродинамическая схема)	19681	–199	42991	293	10546	71

Примечание: L — производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{ч}$.

при различных температурах удаляемого из поэтажного коридора дыма, изменяющихся от начальной температуры воздуха в здании до 300 °С для теплого и холодного периодов года. Выполнены расчеты для двух вариантов положения дверей на путях эвакуации из здания. В первом варианте открытыми принимались двери из коридора в лестничную клетку, из лестничной клетки наружу и двери шахт лифтов на первом этаже. Во втором варианте открытыми считались двери из коридора в лестничную клетку и двери шахты лифтов, а дверь из лестничной клетки наружу считалась закрытой. Параметры наружного воздуха (температура наружного воздуха и скорость ветра) в расчетах принимались согласно СП 131.13330.2012 “Строительная климатология” для г. Москвы (для теплого периода года температура наружного воздуха принята 23 °С, для холодного — минус 25 °С, скорость ветра — 2 м/с).

Результаты расчетов для 15-этажного жилого здания по первому варианту при температуре удаляемого дыма 300 °С для холодного периода года приведены в табл. 1.

Результаты расчетов для этого же здания по второму варианту для холодного периода года при температуре удаляемого дыма 300 °С приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 1 и 2 показывает, что различие результатов расчетов параметров системы дымоудаления из коридоров по инженерной методике и с использованием полных аэродинамических схем для рассмотренных планировочных решений лестнично-лифтовых узлов не превышает 4 %. Параметры систем подпора воздуха в шахты лифтов и

лестничные клетки имеют более существенное различие.

Результаты расчетов при планировке В и различных температурах удаляемого дыма при открытых дверях в коридор этажа пожара и из здания наружу для холодного периода года приведены в табл. 3.

При изменении температуры удаляемого из коридора дыма от 18 до 300 °С объемный расход удаляемого дыма увеличивается практически в два раза, что свидетельствует о важности учета реальной температуры при расчете параметров систем дымоудаления. Изменение температуры удаляемого дыма практически не влияет на параметры вентиляторов подпора воздуха в лестничные клетки и шахты лифтов.

Для выявления степени влияния характеристик наружного воздуха на требуемые параметры вентиляторов системы противодымной защиты здания проведены расчеты с использованием данных, характерных для теплого и холодного периодов года. Результаты этих расчетов для планировок Б, В и Г при открытых дверях в коридор этажа пожара и из здания наружу приведены в табл. 4 (температура удаляемого из коридора дыма принималась равной 200 °С).

Разница в результатах расчетов составила:

- по инженерной методике: для холодного и теплого периодов года для системы дымоудаления по объемному расходу — +3,7 %, по давлению на оголовке шахты — +68 %; для лестничной клетки по объемному расходу — –4,8 %, по давлению на уровне верхнего этажа лестничной клетки — –73 %; для шахты лифта по объем-

Таблица 2. Результаты расчетов для 15-этажного здания по второму варианту

Планировка, методика	Система дымоудаления		Подпор воздуха в лестничную клетку		Подпор воздуха в шахту лифта	
	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$
Инженерная методика	19682	–129	16691	71	21024	71
Б (аэродинамическая схема)	19486	–200	11707	87	5719	71
В (аэродинамическая схема)	19558	–197	17129	99	7322	71
Г (аэродинамическая схема)	19572	–198	17715	101	7238	71

Таблица 3. Результаты расчетов для различных температур удаляемого дыма при открытых дверях в коридор этажа пожара и из здания наружу

Температура удаляемого дыма, °С	Методика	Система дымоудаления		Подпор воздуха в лестничную клетку		Подпор воздуха в шахту лифта	
		$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$
18	Инженерная методика	10088	–44	35946	71	21024	71
	Аэродинамическая схема	9472	–22	36543	230	7708	71
50	Инженерная методика	10914	–25	35946	71	21024	71
	Аэродинамическая схема	10429	–24	35946	230	7734	71
100	Инженерная методика	12417	–14	35946	71	21024	71
	Аэродинамическая схема	12063	–37	36607	230	7797	71
200	Инженерная методика	15955	–47	35946	71	21024	71
	Аэродинамическая схема	15698	–99	36717	231	3510	95

ному расходу — 23 %, по давлению на уровне верхнего этажа шахты лифта — 73 %;

- с использованием аэродинамической схемы при планировке Б: для холодного и теплого периодов года для системы дымоудаления по объемному расходу — +3,0 %, по давлению на оголовке шахты — +48 %; для лестничной клетки по объемному расходу — +3,0 %, по давлению на уровне верхнего этажа лестничной клетки — 32 %; для шахты лифта по объемному расходу — 61 %, по давлению на уровне верхнего этажа шахты лифта — 73 %;
- с использованием аэродинамической схемы при планировке В: для холодного и теплого периодов года для системы дымоудаления по объемному расходу — +2,0 %, по давлению на оголовке шахты — +49 %; для лестничной клетки по объемному расходу — +1,0 %, по давлению на уровне верхнего этажа лестничной клетки — 24 %;

для шахты лифта по объемному расходу — 30 %, по давлению на уровне верхнего этажа шахты лифта — 73 %;

- с использованием аэродинамической схемы при планировке Г: для холодного и теплого периодов года для системы дымоудаления по объемному расходу — +2,0 %, по давлению на оголовке шахты — +50 %; для лестничной клетки по объемному расходу — +2,0 %, по давлению на уровне верхнего этажа лестничной клетки — 19 %; для шахты лифта по объемному расходу — 27 %, по давлению на уровне верхнего этажа шахты лифта — 73 %.

На основании анализа результатов расчетов можно сделать следующие выводы.

1. Расчеты параметров системы дымоудаления из коридоров по инженерной методике практически совпадают с результатами расчетов с использо-

Таблица 4. Результаты расчетов при параметрах наружного воздуха для холодного и теплого периодов года для планировок Б, В и Г при открытых дверях в коридор этажа пожара и из здания наружу

Схема	Период года	Методика	Система дымоудаления		Подпор воздуха в лестничную клетку		Подпор воздуха в шахту лифта	
			$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{Па}$
Б	Холодный	Инженерная методика	15955	–47	35946	71	21024	71
		Аэродинамическая схема	15565	–108	27397	164	4047	71
	Теплый	Инженерная методика	16571	–146	34235	19	16079	19
		Аэродинамическая схема	16080	–206	28318	111	1559	19
В	Холодный	Инженерная методика	15955	–47	35946	71	21024	71
		Аэродинамическая схема	15698	–99	36717	231	7963	71
	Теплый	Инженерная методика	16571	–146	34235	19	16079	19
		Аэродинамическая схема	16095	–197	37240	175	5535	19
Г	Холодный	Инженерная методика	15955	–47	35946	71	21024	71
		Аэродинамическая схема	15718	–97	42879	293	10340	71
	Теплый	Инженерная методика	16571	–146	34235	19	16079	19
		Аэродинамическая схема	16097	–195	43824	236	7498	19

ванием аэродинамических схем здания. Результаты расчетов параметров вентиляторов подпора воздуха в незадымляемые лестничные клетки типа Н2 и в шахты лифтов по инженерной методике существенно отличаются от результатов расчетов с использованием аэродинамических схем зданий.

2. Температура удаляемых из коридора продуктов горения не оказывает заметного влияния на расчетные параметры систем подпора воздуха в лест-

ничные клетки и шахты лифтов, но существенно влияет на параметры системы дымоудаления из коридора. Этот факт показывает, что требуются исследования этого параметра.

3. Выбор расчетных параметров наружного воздуха (холодный или теплый период года) оказывает существенное влияние на параметры системы дымоудаления и систем подпора в лестничные клетки и шахты лифтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий : методические рекомендации. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, 2013.
2. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий : рекомендации АВОК 5.5.1–2012. — М. : НП АВОК, 2012.
3. МДС 41-1.99. Рекомендации по противодымной защите при пожаре (к СНиП 2.04.05–91*) : утв. 01.01.2000 г. ГПК СантехНИИпроект. — М. : ГПК СантехНИИпроект, 2001.

Материал поступил в редакцию 13 января 2014 г.

English

COMPARISON OF METHOD OF CALCULATION OF DEMANDED PARAMETERS OF VENTILATING SYSTEMS OF SMOKE CONTROL OF MULTISTORIED BUILDINGS

ESIN V. M., Dr. of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

KALMYKOV S. P., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: k_sp@bk.ru)

ABSTRACT

Calculations of parameters of smoke control system with use of an engineering technique and aerodynamic schemes of the building are executed. At calculation of parameters of smoke control system from corridors, the pressurization in stairwells and mines of elevators with use of engineering techniques there is insufficiently correctly considered real planning of the building. Results of calculations of parameters of smoke control system with use of an engineering technique differ from the corresponding results received in calculations of aerodynamic schemes of buildings with various planning of stairwell and lift knots. The smallest differences are observed in results of calculations of parameters of fans the smoke removals, the greatest — in results of calculations of parameters of fans pressurization in staircases and mines of lifts. Results of calculations of parameters of smoke control system with various temperature of products of burning deleted from corridors showed that this parameter significantly influences parameters of system of smoke removal from a corridor and have no noticeable impact on parameters of fans pressurization in stairwells and mines of lifts.

The executed calculations with climatic data (temperature of external air and wind speed), characteristic for the warm and cold periods of year, were allowed to define extent of their influence on required parameters of smoke control system of the multistoried building.

Keywords: smoke ventilation; smoke control system; smoke removal; pressurization; multistoried buildings.

REFERENCES

1. *Raschetnoye opredeleniye osnovnykh parametrov protivodymnoy ventilyatsii zdaniy. Metodicheskiye rekomendatsii* [Settlement determination of main parameters of smoke ventilation of buildings. Methodical recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013.
2. *Raschet parametrov sistem protivodymnoy zashchity zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. Rekomendatsii ABOK 5.5.1–2012* [Calculation of parameters of systems of smoke management of residential and public buildings. Recommendations ABOK 5.5.1–2012]. Moscow, NP ABOK Publ., 2012. 45 p.
3. *Methodical Documents in Construction 41-1.99. Rekomendatsii po protivodymnoy zashchite pri pozhare (k SNiP 2.04.05–91*)* [Recommendations about smoke protection at a fire]. Moscow, Santekh-NIIproekt Publ., 2001.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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



ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ ПОД ПАТРОНАЖЕМ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

VI Всероссийская
специализированная выставка



Комплексная безопасность

18-21 СЕНТЯБРЯ/ 2014

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!

- ВЕДУЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ОТРАСЛИ
- ДЕЛОВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ
- ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ АУДИТОРИЯ

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ОБЩЕСТВЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС
БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

**ОДНОВРЕМЕННО СОСТОИТСЯ XII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА-ЯРМАКА
«РОССИЙСКИЕ ОХОТНИЧЬЕ-СПОРТИВНЫЕ ТОВАРЫ»**

Место проведения:
г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9

тел./факс: (3412) 733-581, 733-585, 733-587, 733-664
safe@vcudm.ru | www.safe.vcudm.ru | vk.com/izh_safe

Генеральный
интернет-партнер



Информационные партнеры



ПРОТИВОПОЖАРНЫЙ
СПАСАТЕЛЬНЫЙ СЕРВИС

ПОЖАРНОЕ ДЕЛО

Интернет-партнеры



ПОСТАВЩИКИ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ

ОПТОВАЯ ТОРГОВЛЯ
ОПТОВЫЕ ПОСТАВЩИКИ

Р. Н. ИСТРАТОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве УНЦ ППБС Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: istr.roman@yandex.ru)

УДК 614.842.65-056.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПАСЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ НЕМОБИЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ ИЗ СТАЦИОНАРОВ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Представлены результаты экспериментов по спасению немобильных людей из зданий больниц и домов-интернатов для престарелых и инвалидов. Определены параметры движения спасателей разного пола при осуществлении спасения людей с помощью носилок. Представлена формула по определению расчетного времени спасения немобильных людей из здания. Экспериментально установлен предел физических возможностей спасателей при спасении людей с помощью носилок с определенного этажа здания.

Ключевые слова: средства спасения; немобильные люди; носилки санитарные; больница; социальные учреждения.

Введение

Обеспечение пожарной безопасности объектов с пребыванием людей, имеющих ограниченные физические возможности, является одной из самых сложных задач, стоящих перед специалистами пожарной охраны. К числу таких объектов относятся прежде всего стационары лечебно-профилактических и социальных учреждений: больницы, дома сестринского ухода, реабилитационные центры, дома-интернаты для престарелых и инвалидов, геронтологические центры, хосписы и т. п. По функциональной пожарной опасности эти здания относятся к классу Ф1.1.

Возникновение пожаров в таких зданиях часто носит трагический характер, так как сопровождается большим количеством жертв, о чем регулярно сообщается в средствах массовой информации (табл. 1).

В большинстве случаев гибель людей обусловлена тем, что они не успевают покинуть здание до

наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП) на путях эвакуации.

Основной функциональный контингент стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений состоит из людей, чье физическое состояние в отличие от здоровых людей можно охарактеризовать как “немогущее”, поэтому требуется значительно больше времени на их эвакуацию из здания в случае пожара [1]. Однако самую большую проблему представляет обеспечение безопасности немобильных людей, неспособных к самостоятельной эвакуации, количество которых в стационарах может достигать 50 чел. К таким людям относятся ослабленные граждане престарелого возраста, лежащие пациенты, поступившие в больничную палату после хирургической операции, а также инвалиды с поражением опорно-двигательного аппарата. Тяжелое состояние этих людей, не позволяющее им пере-

Таблица 1. Данные по наиболее трагическим пожарам за последние годы в стационарах лечебно-профилактических и социальных учреждений

Дата пожара	Объект пожара	Количество, чел.	
		погибших	пострадавших
06.02.2005	Дом-интернат для престарелых и инвалидов, г. Лодейное поле, Ленинградская обл.	6	0
25.11.2005	Городская больница № 7, г. Москва	4	6
20.03.2007	Дом-интернат для престарелых, станица Камышевская, Краснодарский кр.	63	30
04.11.2007	Дом-интернат для престарелых, с. Велье-Никольское, Тульская обл.	32	0
31.01.2009	Дом-интернат для престарелых, г. Подъельск, Республика Коми	23	0
24.01.2012	Больница, г. Артем, Приморский кр.	1	3
25.01.2012	Дом-интернат для престарелых и инвалидов, пос. Молочный, Вологодская обл.	1	2

двигаться самостоятельно, предопределяет единственный способ их защиты от воздействия опасных факторов пожара — это спасение их при помощи посторонних людей, в частности специально обученного персонала.

Согласно п. 4.1.2 [2] “спасение представляет собой вынужденное перемещение людей наружу при воздействии на них опасных факторов пожара или при возникновении непосредственной угрозы этого воздействия. Спасение осуществляется самостоятельно, с помощью пожарных подразделений или специально обученного персонала, в том числе с использованием спасательных средств, через эвакуационные и аварийные выходы”.

С учетом высокой скорости распространения ОФП в здании, а также значительного времени прибытия первых пожарных подразделений к месту вызова, регламентированного нормами [3] (в городских поселениях и городских округах — 10 мин, а в сельских поселениях — до 20 мин), спасение немобильных людей будет зависеть, в первую очередь, от возможностей персонала и применяемых ими спасательных средств.

Наиболее используемыми сегодня при пожарах спасательными средствами в различных зданиях согласно [4, 5] являются: канатно-спускные; рукавные; пневматические прыжковые; спасательные желоба. Основной принцип работы таких средств спасения состоит в том, что спуск человека с высоты определенного этажа до уровня земли происходит под силой тяжести самого спасаемого, которая зависит от массы его тела. Учитывая тяжелое физическое состояние большинства людей, находящихся в стационарах, использование таких спасательных средств для них крайне нежелательно. Главными негативными факторами, оказывающими серьезное влияние на здоровье и жизнь спасаемых в этой ситуации, являются сильная тряска и высокое эмоциональное напряжение, испытываемые беспомощным немобильным человеком на высоте во время перемещения его через аварийный выход в спасательное средство.

Операцию спасения немобильных людей спасатели должны проводить с особой осторожностью и терпением, в максимальной степени ограничивая возникновение тряски и стрессового состояния спасаемых. Подобные условия наиболее вероятно обеспечить при осуществлении спасения через эвакуационные пути и выходы, чтобы немобильные люди при транспортировке находились в непосредственном контакте со своими спасателями. На сегодняшний день основным таким универсальным и безопасным средством перемещения людей по различным видам эвакуационных путей, в том числе по лестницам, в лечебно-профилактических и со-



Рис. 1. Носилки санитарные массой 8,5 кг с габаритными размерами в разложенном положении 2200×560×165 мм, в сложенном — 2200×180×165 мм

циальных учреждениях являются санитарные носилки (рис. 1). Роль этих спасательных средств столь велика, что их количество в стационарах учреждений регламентируется нормативно-правовыми документами. Так, например, в п. 135 Правил противопожарного режима в Российской Федерации [6] указано, что руководитель организации должен обеспечивать наличие на объектах здравоохранения (больницы, лечебницы и др.), в которых находятся больные, неспособные передвигаться самостоятельно, количество носилок исходя из расчета 1 носилки на 5 больных (инвалидов).

Постановка экспериментальных исследований процесса спасения

Расчетное время спасения людей, неспособных к самостоятельному передвижению, с этажа здания $t_{\text{сп.р}}$ (мин) можно определить по элементарной формуле (1), суммирующей затраты времени на последовательные операции, составляющие процесс спасения:

$$t_{\text{сп.р}} = \left(t_1 + t_2 + \frac{L_1}{V_1^n} + \frac{L_2}{V_2^n} + \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right) \times \times \frac{N_{\text{нм}}}{0,5N_{\text{сп}}} - \left(\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right), \quad (1)$$

где t_1 — время укладывания человека, неспособного к самостоятельной эвакуации, на носилки, мин;

t_2 — время перекладывания человека, неспособного к самостоятельной эвакуации, с носилок на подготовленную горизонтальную поверхность, мин;

L_1, L_2 — длина пути спасения соответственно по горизонтальному пути и по лестнице, м;

V_1^n, V_2^n — скорость передвижения медперсонала со спасаемым человеком, лежащим на носилках, соответственно по горизонтальному пути и по лестнице вниз, м/мин;

V_1, V_2 — скорость передвижения медперсонала (спасателей) с носилками без спасаемого чело-

века соответственно по горизонтальному пути и по лестнице вверх, м/мин;

$N_{\text{нм}}$ — количество людей, неспособных к самостоятельной эвакуации;

$N_{\text{сп}}$ — количество спасателей.

Как показывает формула (1), успех спасения немобильных людей с помощью носилок зависит от многих обстоятельств, важнейшими из которых являются необходимое количество спасателей и их физические возможности. Каковы же физические возможности персонала лечебно-профилактических и социальных учреждений при осуществлении спасения людей с помощью носилок, и какое влияние на этот процесс оказывает масса спасаемых людей? Систематизированных данных по этим вопросам в литературных и нормативных источниках обнаружить не удалось, поэтому для выяснения этих вопросов специалистами Академии ГПС МЧС России было организовано проведение специальных экспериментов в трех домах-интернатах для престарелых и инвалидов и в четырех клинических больницах.

Цель данных экспериментов — определение значений параметров движения спасателей (медперсонала учреждения) разного пола при проведении спасения немобильных людей через эвакуационные пути и выходы с помощью носилок. Главными операциями данного процесса являются их перекладывание с кровати на носилки и переноска на носилках по горизонтальному пути, а затем по лестнице вниз. Эффективность проведения этих операций характеризуется временем их выполнения, которое зависит от возможной скорости их осуществления спасателями разного состава при различной массе спасаемых.

В качестве спасаемых людей в экспериментах были выбраны пациенты разных отделений из числа добровольцев с различной массой — от 20 до 90 кг. Для реалистичности эксперимента перед ними была поставлена задача строго имитировать неподвижность, играя роль немобильного человека. В качестве спасателей выступил медперсонал (врачи и медсестры) мужского и женского пола из разных отделений. Для фиксации значений времени выполнения операций процесса спасения в указанных экспериментах использовались цифровые видеокамеры.

Эксперименты по определению времени перекладывания людей с кровати на носилки (рис. 2) проводили в специально отведенных палатах, где заранее были подготовлены кровать и носилки. Из бесед с персоналом удалось выяснить, что наиболее удобный и безопасный в экстремальной ситуации способ перекладывания людей с кровати на носилки — это подъем пациента при помощи одеяла. С учетом этого для эксперимента был выбран именно этот способ перекладывания.



Рис. 2. Фрагменты проведения экспериментов по определению времени перекладывания людей с кровати на носилки

Перед началом проведения эксперимента носилки были установлены на полу параллельно кровати, на которой лежал человек, имитирующий неподвижность, а рядом с ним возле передней и задней спинок кровати стояла пара спасателей. По команде организаторов эксперимента спасатели поднимали спасаемого человека с кровати с помощью одеяла и перекладывали его на носилки. Весь процесс перекладывания снимался на видеокамеры оператором. После завершения перекладывания спасаемый человек вставал с носилок и снова ложился на кровать, у которой уже стояла новая пара спасателей, ожидающая своей очереди. После того как все пары спасателей мужского и женского пола провели перекладывание по одному разу, на кровать ложился новый человек, на 10 кг тяжелее предыдущего, и все повторялось сначала. Эксперимент продолжался до тех пор, пока не было завершено перекладывание последнего «спасаемого человека» массой 90 кг.

Эксперимент по определению скорости переноски людей на носилках по горизонтальному пути (рис. 3) проводился в коридоре учреждения. Здесь каждой паре спасателей ставилась задача по коман-



Рис. 3. Фрагменты проведения экспериментов по определению скорости переноски людей на носилках по горизонтальному пути

де организаторов эксперимента произвести переноску человека на носилках от начала коридора до его конца, после чего развернуться и перенести его обратно в начало коридора. После завершения одного такого рейса переноска осуществлялась следующей парой спасателей. После того как все пары спасателей совершили данную операцию со спасаемым человеком определенной массы, на них ложился другой человек, на 10 кг тяжелее предыдущего, и эксперимент повторялся. Персоналу, выполняющему переноску человека на носилках, предлагалось двигаться быстрым шагом, как будто они осуществляют ее во время пожара, соблюдая при этом медицинские требования переноски пациента на носилках.

Поскольку во всех учреждениях, где проводились эксперименты, протяженность коридоров оказалась разной, то было принято решение разделить их на отрезки по 10 м, делая на полу пометки мелом. Во время видеосъемки эксперимента при переноске человека на носилках оператор фиксировал моменты, когда спасатели пересекали эти метки.

Эксперимент по определению скорости переноски по лестнице вниз (рис. 4) проводился с теми

же участниками и по тем же правилам, что и в предыдущем эксперименте, с поправкой на вид пути и его протяженность. Здесь спасателям ставилась задача перенести человека на носилках по лестнице вниз на один этаж, преодолевая при этом заранее замеренное расстояние пути, состоящего из двух лестничных маршей с уклоном 1:2 и лестничной площадки. После переноски человека на носилках по указанному пути носилки ставились на пол, и человек, имитирующий спасаемого, вставал с них и возвращался по лестнице к началу пути. Спасатели также поднимались по лестнице к началу пути с пустыми носилками и передавали их следующей паре спасателей. Как и в предыдущем эксперименте, весь процесс снимался оператором на видеокамеру.

Формирование статистической базы экспериментальных данных

Дешифровка видеоматериалов, полученных при съемках экспериментов с носилками, осуществлялась на персональном компьютере с помощью программы покадрового просмотра видеоизображений Quick Time фирмы Apple.

Во время покадрового просмотра видеоматериалов время перекладывания персоналом спасаемого человека с кровати на носилки $t_{\text{пк}}$ (с) за n кадров и с частотой покадровой проекции видео $\nu_{\text{кадр}}$ (с^{-1}) определяется по формуле

$$t_{\text{пк}} = n / \nu_{\text{кадр}}. \quad (2)$$

Скорость переноски персоналом спасаемого человека на носилках $V_{\text{пн}}$ (м/мин) по участку длиной l (м) определяется по формуле

$$V_{\text{пн}} = \frac{l}{t} 60, \quad (3)$$

где t — время переноски, определяемое как отношение n кадров видеозаписи, за которые спасатели осуществляли переноску человека на носилках по участку, к частоте покадровой проекции видео $\nu_{\text{кадр}}$, мин.

Полученные в результате дешифровки значения времени перекладывания людей и скоростей их переноски в зависимости от массы спасаемых людей были представлены в виде отдельных выборок по стационарам учреждений, в которых проходили эксперименты. После этого был проведен первичный статистический анализ данных, входящих в состав каждой выборки, при помощи программ статистического анализа данных STATISTICA v7.0.61.0 и Atte-Stat 12.0.5.

Изначально каждая выборка проверялась на тип распределения эмпирических данных. В связи с тем что объем каждой выборки не превышал 50 значений, для обработки данных был применен критерий



Рис. 4. Фрагменты проведения экспериментов по определению скорости переноски людей на носилках по лестнице вниз

Шапиро–Уилка. Проверка на нормальность показала, что распределение каждой выборки описывается нормальным законом распределения. Проверка на наличие грубых погрешностей при помощи правила трех сигм (3σ) показала, что все значения в выборках лежат в интервалах от $x - 3\sigma$ до $x + 3\sigma$.

После того как выяснилось, что все значения в выборках подчиняются нормальному закону распределения, была проведена проверка выборок на однородность при помощи параметрического критерия — t -критерия Стьюдента, проверяющего равенство средних значений. Проверка выборок на однородность показала, что выборки со значениями, полученными в разных учреждениях, в результате одних и тех же экспериментов с учетом массы спасаемых людей и пола спасателей могут быть объединены в общие генеральные совокупности.

Результаты первичной обработки полученных данных представлены в табл. 2–4. Общая совокупность эмпирических данных, полученных в результате экспериментов по спасению, составила 873 значения, из них при определении времени перекладывания людей с кровати на носилки — 279 значений, скорости переноски людей на носилках по горизонтальному пути — 315 значений, а по лестнице вниз — 279 значений.

Установление связи между скоростью движения спасателей и массой переносимого ими человека

Как показывают данные табл. 2–4, связь между скоростью движения спасателей и массой переносимого ими человека — стохастическая. По своей сути она выражает изменение физиологической реакции спасателей (скорости их движения) на психофизиологическое воздействие — увеличение массы переносимого человека. Для выявления общей тенденции зависимости скорости передвижения спасателей при выполнении спасательных операций от массы спасаемых по эмпирическим данным полученные результаты были выражены через безразмерную функцию:

$$R_m = \frac{V_0 - V_m}{V_0}, \quad (4)$$

где V_0 — средняя скорость, зафиксированная при перемещении самого легкого человека — массой 20 кг, м/мин (подразумевая, что данный или близкий по массе груз не оказывает влияния на скорость передвижения спасателей);

V_m — средняя скорость перемещения спасаемых людей в каждом интервале их массы, м/мин.

Получив средние значения R_m для каждого интервала массы в каждом виде эксперимента и расположив полученные точки на координатной плоскости, можно определить вид аппроксимирующей

Таблица 2. Результаты первичной статистической обработки данных времени по перекладыванию людей разной массы мужским и женским персоналом стационаров

Масса спасаемого человека, кг	Количество наблюдений N	Математическое ожидание времени перекладывания $M(t)$, с	Среднеквадратическое отклонение $\sigma(t)$, с
20	5/3	2,40/2,54	0,4650/0,2009
30	5/3	2,73/2,56	0,5089/0,4247
40	5/3	3,30/2,58	0,8436/0,5295
50	25/20	4,20/2,79	1,0567/0,4157
60	40/20	5,13/3,28	0,2589/0,3483
70	40/20	6,20/3,90	0,4422/0,3483
80	25/20	7,11/5,08	0,3153/0,2001
90	25/20	9,54/6,31	0,0383/0,5314

Примечание. В табл. 2–4 над чертой приведены значения для случая, когда в эксперименте участвуют спасатели женского пола, под чертой — мужского.

Таблица 3. Результаты первичной статистической обработки данных скорости переноски людей разной массы по горизонтальному пути мужским и женским персоналом стационаров

Масса спасаемого человека, кг	Количество наблюдений N	Математическое ожидание скорости переноски $M(V)$, м/мин	Среднеквадратическое отклонение $\sigma(t)$, с
20	5/15	114,81/133,34	10,3745/10,9161
30	5/15	107,03/133,01	6,8263/13,3324
40	5/15	96,01/132,85	7,5025/8,2042
50	25/20	86,00/128,04	6,9497/17,1215
60	40/20	77,98/117,34	4,9560/13,3134
70	40/20	72,14/109,24	4,6078/6,7194
80	25/20	67,43/102,18	3,6527/5,4881
90	25/20	67,21/95,32	3,7865/4,8192

Таблица 4. Результаты первичной статистической обработки данных скорости переноски людей разной массы по лестнице вниз мужским и женским персоналом стационаров

Масса спасаемого человека, кг	Количество наблюдений N	Математическое ожидание скорости переноски $M(V)$, м/мин	Среднеквадратическое отклонение $\sigma(t)$, с
20	5/3	54,97/50,02	3,5059/0,9146
30	5/3	50,01/50,02	4,5188/1,1246
40	5/3	42,14/49,99	3,2929/3,5858
50	25/20	36,36/47,44	2,1939/6,3437
60	40/20	32,00/43,67	1,7400/4,1441
70	40/20	28,02/40,00	1,7458/2,4605
80	25/20	25,04/37,97	2,0934/3,9198
90	25/20	23,00/34,88	3,6222/1,7632

функции и затем установить тесноту корреляционной связи между случайными величинами: массой спасаемого m и реакцией спасателей V на ее изменение. Аппроксимация полученной зависимости $R = f(m)$ показывает, что она соответствует логарифмической функции. Тогда выражение зависимости скорости переноски людей спасателями на носилках по горизонтальному пути и по лестнице вниз $V_{\text{пн}j}$ (м/мин) от массы спасаемого человека может быть описано в общем виде случайной функцией

$$V_{\text{пн}j} = V_{0j} \left(1 - a_j \ln \frac{m_j}{m_{0j}} \right), \quad (5)$$

где V_{0j} — случайная величина скорости свободного движения спасателя по j -му виду пути при переноске на носилках человека массой $m_j \leq m_{0j}$, м/мин;

a_j — коэффициент адаптации спасателей к движению при переноске спасаемого по j -му виду пути при увеличении его массы;

m_j — масса спасаемого человека при переноске его на носилках по j -му виду пути;

m_{0j} — пороговое значение массы спасаемого человека при переноске его на носилках по j -му виду пути, по достижении которого масса начинает оказывать влияние на скорость переноски.

Полученные значения перечисленных в (5) величин и графический вид зависимостей $V_{\text{пн}j} = f(m)$ представлены на рис. 5.

Теснота установленной корреляционной связи подтверждается чрезвычайно высокими значениями теоретического корреляционного отношения $\eta_T = 0,994 \div 0,998$.

Изложенная методика установления зависимости скорости движения спасателей от массы спаса-

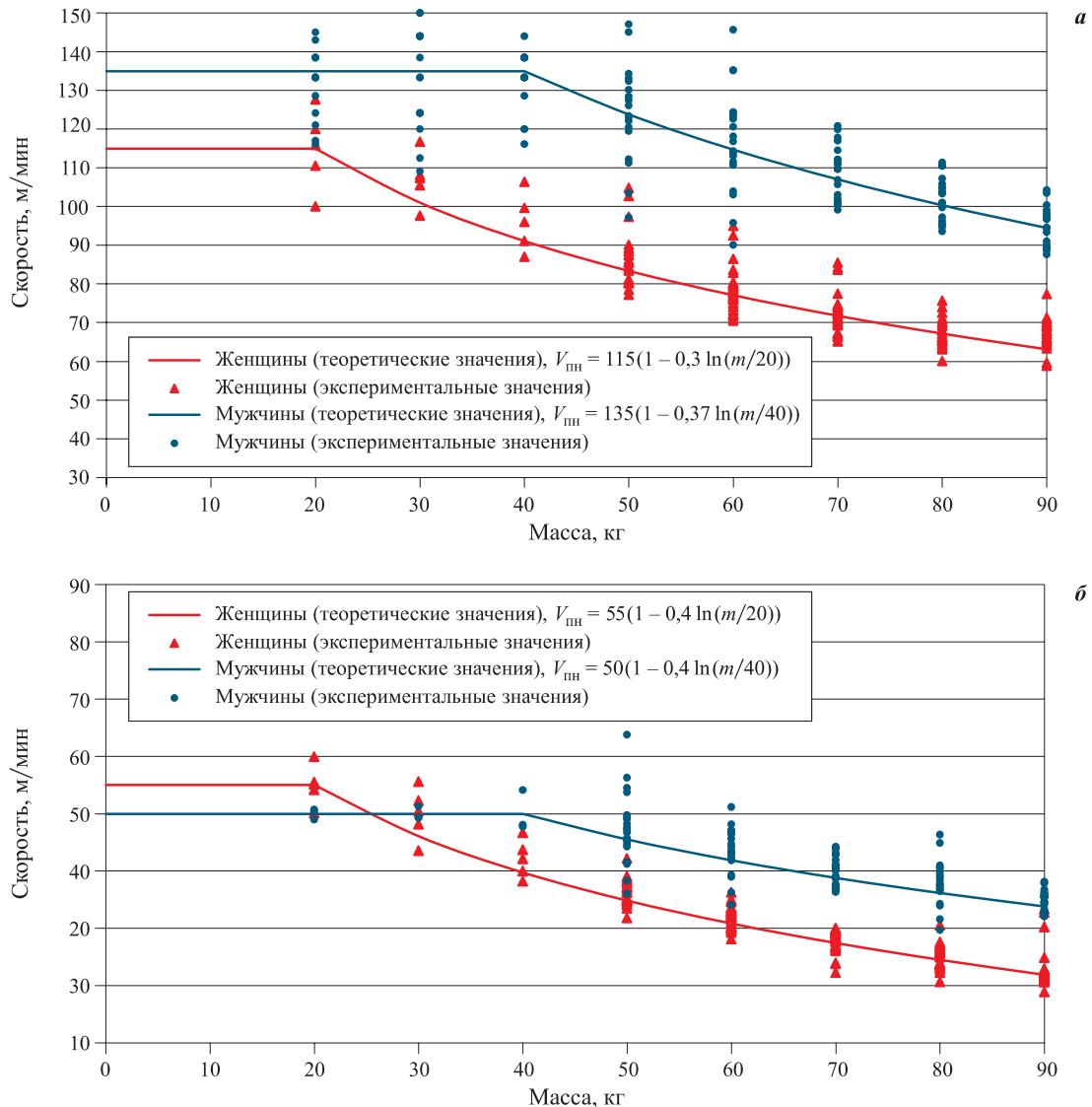


Рис. 5. Зависимость скорости переноски спасаемых людей на носилках от их массы спасателями мужского и женского пола по горизонтальному пути (а) и по лестнице вниз (б)

емого ими человека является развитием методологии психофизиологического обоснования связи между параметрами движения людских потоков [7–9], результаты которой определили их нормируемые значения [10–12].

Таким образом, в основе влияния массы человека на скорость его перемещения на носилках с помощью спасателей лежат психофизические закономерности взаимосвязи между физическими характеристиками различного характера стимулов, порождаемых массой человека и интенсивностью ощущений, реакцией на которые и является соответствующая скорость движения спасателей.

Закономерности затрат времени на перекладывание пациентов на носилки

Физиологическим показателем работы организма человека, характеризующим быстроту действий по перекладыванию пациента, является скорость выполнения этой операции. Однако значения скорости не могут фиксироваться непосредственно, а определяются через время, затрачиваемое на выполнение действия, т. е. время — это функция скорости. В связи с этим значения времени перекладывания спасателями людей различной массы с кровати на носилки были переведены в скорость. Поскольку скорость V (м/мин) — величина, обратная времени t , ее можно записать в виде выражения $V = l/t$ (где l — длина траектории перекладывания человека, м), т. е. значение скорости выполнения операции обратно пропорционально фиксируемому значению ее выполнения: $V = 60/t$.

Выражение для определения времени перекладывания людей спасателями с кровати на носилки $t_{\text{пк}}$ (с) выглядит следующим образом:

$$t_{\text{пк}} = \frac{60}{V_0[1 - a \ln(m/m_0)]}, \quad (6)$$

где V_0 — случайная величина скорости свободного перекладывания человека с кровати на носилки спасателями при $m \leq m_0$, м/мин;

a — коэффициент адаптации спасателя к перекладыванию человека с кровати на носилки при увеличении массы спасаемого;

m — масса спасаемого человека при перекладывании его с кровати на носилки;

m_0 — пороговое значение массы спасаемого человека при перекладывании его с кровати на носилки, по достижении которого масса начинает оказывать влияние на скорость перекладывания.

Значения a , m_0 и V_0 , полученные для выражения (6), приведены в табл. 5.

Таблица 5. Значения a , m_0 и V_0 при определении времени перекладывания спасаемых людей различной массы с кровати на носилки и скорости их переноски по горизонтальному пути и по лестнице вниз спасателями разного пола

Пол спасателей	Действия спасателей	V_0 , м/мин	a	m_0 , кг
Женщины	Перекладывание спасаемого человека с кровати на носилки	25	0,5	20
	Переноска спасаемого человека на носилках по горизонтальному пути	115	0,3	20
	Переноска спасаемого человека на носилках по лестнице вниз	55	0,4	20
Мужчины	Перекладывание спасаемого человека с кровати на носилки	25	0,75	40
	Переноска спасаемого человека на носилках по горизонтальному пути	135	0,37	40
	Переноска спасаемого человека на носилках по лестнице вниз	50	0,4	40

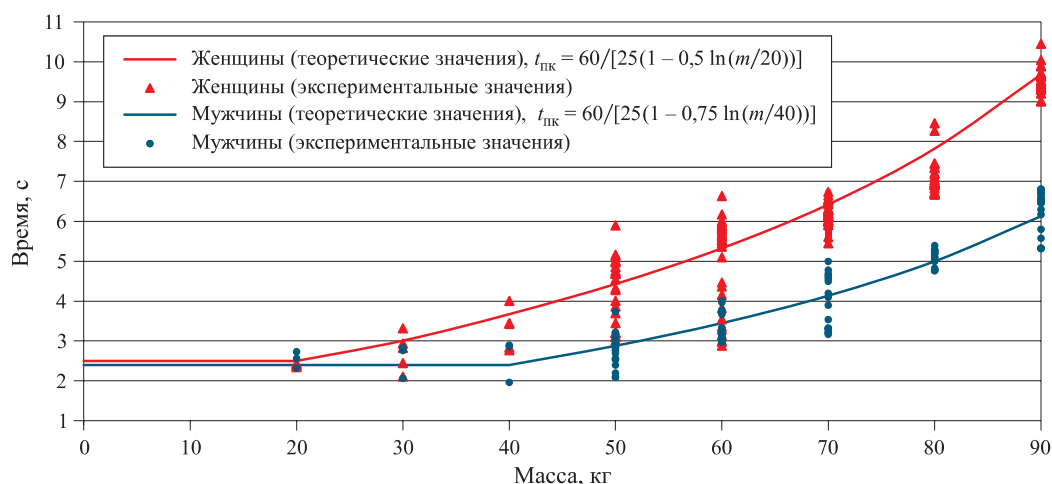


Рис. 6. Зависимость времени перекладывания спасаемых людей с кровати на носилки от их массы спасателями мужского и женского пола

Графики случайных функций затрат времени на перекладывание спасаемых людей различной массы с кровати на носилки спасателями разного пола представлены на рис. 6.

Экспериментальные исследования по определению возможного количества рейсов спасения

После установления закономерностей изменения параметров движения спасателей при перемещении спасаемых людей с помощью носилок представляется возможным провести расчет общего времени спасения людей с этажей здания. Однако, поскольку физические возможности человека при подъеме и переноске различных грузов не безграничны, то, в конце концов, наступит такой момент, когда человек устанет и не сможет справляться с определенной физической нагрузкой. Спасение людей в стационарах лечебно-профилактических и социальных учреждений может явиться одной из таких ситуаций. В связи с этим расчет по формуле (1) следует выполнять с учетом физических возможностей спасателей, характеризующихся совершением максимально возможного количества рейсов спасения немобильных людей.

Для определения максимально возможного количества рейсов спасения (переноски людей на носилках), которое может осуществить одна пара спасателей с одного определенного этажа здания, также был организован эксперимент.

Эксперимент проводился в трехэтажном здании, где с каждого этажа по очереди было организовано спасение немобильных людей. На проведение эксперимента было отведено 3 дня (один день — один этаж). В качестве спасателей были выбраны два физически крепких мужчины, не имеющих физических ограничений. В роли спасаемого участвовал человек массой 60 кг.

Эксперимент выполнялся по следующей схеме (для каждого этажа здания (рис. 7)):

- на этаже, с которого запланировано проводить спасение людей, спасатели должны переложить спасаемого человека с кровати на носилки;
- пронести спасаемого на носилках по горизонтальному пути (коридору) 35 м (расстояние взято согласно табл. 2 СП 1.13130.2009 [2] — расстояние от дверей наиболее удаленного помещения в стационарах лечебных учреждений общественных зданий класса конструктивной пожарной опасности С0 до выхода на лестничную клетку);
- пронести спасаемого на носилках по лестнице вниз до выхода из здания;
- пронести спасаемого на носилках по улице на расстояние 20 м от здания (20 м — предполагаемое безопасное при пожаре расстояние от здания);

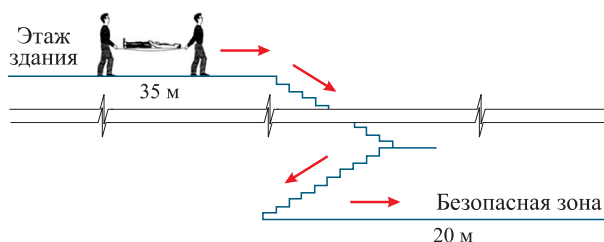


Рис. 7. Схема пути переноски человека на носилках

Таблица 6. Максимальное количество рейсов по спасению, осуществляемое одной парой спасателей с одного этажа здания

Этаж, с которого проходило спасение	Максимальное количество рейсов по переноске людей на носилках
3	8
2	11
1	20

- переложить спасаемого человека с носилок на безопасную горизонтальную поверхность;
- возвратиться с пустыми носилками по пройденному пути на начальную позицию для спасения следующего человека.

Спаасаемый человек после его перекладывания с носилок на горизонтальную поверхность, находящуюся вне здания, вставал и вместе со спасателями возвращался на исходную позицию для участия в следующем рейсе спасения. Эксперимент продолжался до тех пор, пока спасатели не сообщили о своей усталости и невозможности продолжать переноску человека на носилках. Результаты, полученные в эксперименте, приведены в табл. 6.

После завершения эксперимента спасатели, осуществлявшие переноску человека на носилках, сообщили, что предел их физических сил наступил не из-за общей усталости организма, а в результате крепатуры (забитости) мышц рук. По их ощущениям основные мышцы, которые больше всего напрягаются у людей, переносающих носилки, — это мышцы предплечий, работающие на сжатие пальцев. При продолжительной переноске человека на носилках из-за крепатуры мышц предплечий ручки носилок могут просто выскользнуть из пальцев, что может привести к травме переносимого человека. Было также отмечено, что спасатель, держащий носилки со стороны головы переносимого человека, испытывает большую нагрузку, чем спасатель, несущий носилки со стороны ног, поэтому предел физических сил у спасателей возникает одновременно.

Заключение

Экспериментальные и теоретические исследования позволили впервые установить психофизиологически обоснованные закономерности изменения

параметров действий спасателей по спасению с помощью носилок немобильных людей, без знания которых невозможно обоснованно нормировать силы

и средства спасения из зданий больниц и домов-интернатов для престарелых людей и инвалидов класса функциональной пожарной опасности Ф1.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Эвакуация людей с физическими ограничениями // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2012. — № 3 (43). — 9 с.
2. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с изм.: приказ МЧС РФ от 09.12.2010 г. № 639) : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 171; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. 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. — 2012. — № 29, ст. 3997.
4. Методические рекомендации для органов государственной власти субъектов Российской Федерации по обучению населения мерам пожарной безопасности. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2012. — 187 с.
5. Харисов Г. Х., Сущинский В. Л. Спасательные устройства и безопасность людей при пожарах // Проблемы защиты объектов народного хозяйства от пожаров : сб. трудов. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. — С. 203–207.
6. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390; введ. 01.09.2012 г. // Собрание законодательства РФ. — 07.05.2012. — № 19, ст. 2415.
7. Холицевников В. В. Моделирование зависимостей между параметрами людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования : сб. трудов. — Томск : Изд. Томского гос. ун-та, 1982. — С. 36–53.
8. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983. — 442 с.
9. Холицевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S // Научные открытия. — М. : РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2006.
10. СНиП II-2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений : постановление Госстроя СССР от 18.12.1980 г. № 196; введ. 01.01.1982 г. — М. : Стройиздат, 1981.
11. ГОСТ 12.1.004–91*. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования (в ред. от 01.10.93 г.). — Введ. 01.07.92 г. — М. : Стандартинформ, 2006.
12. Методика определения расчетных пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 (в ред. от 12.12.2011 г.) // Российская газета. — 2009. — № 161.

Материал поступил в редакцию 20 апреля 2014 г.

English

STUDY ON RESCUE POSSIBILITIES OF IMMOBILE PEOPLE FROM MEDICAL AND SOCIAL INSTITUTIONS IN CASE OF FIRE

ISTRATOV R. N., Lecturer of Fire Safety in Construction Department, Educational and Research Centre "Fire Safety in Construction", State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: istr.roman@yandex.ru)

ABSTRACT

The main universal and safe means of rescue of immobile people during the fire is carrying them on stretchers by staff. To establish the physical capacity of staff to implement the necessary rescue operations — shifting people of different masses from the bed on a stretcher and carry them on a horizontal way and down the stairs, a set of experiments were carried out in three homes for

the elderly and disabled people and in four clinical hospitals. The general sample of empirical data amounted to 873 values. Theoretical developments, using the methodology of psycho-physiological relation between the parameters of behavior of people at evacuation, have allowed to establish the relation between speed and different masses of patients and time of moving from a bed on a stretcher in the form of random functions.

Carried out researches allow to implement in building codes means for rescue operation in case of fire in hospitals and nursing homes for elderly and disabled people.

Keywords: rescue; immobile people; sanitary stretchers; hospital; social institutions.

REFERENCES

1. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. Evakuatsiya lyudey s fizicheskimi ogranicheniyami [Evacuation of people with disabilities]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti: Internet-zhurnal — Technosphere Technology Security: Internet Journal*, 2012, vol. 43, no. 3. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-3/05-03-12.ttb.pdf> (Accessed 14 May 2014).
2. *Set of rules 1.13130.2009. Fire protection systems. The evacuation routes and exits*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
3. Technical regulations on fire safety requirements. Federal Law of Russian Federation No. 123 on 22.07.2008. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2012, no. 29, art. 3997 (in Russian).
4. *Methodical recommendations for the state institutions of subjects of the Russian Federation for training of the population to measures of fire safety*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012. 187 p. (in Russian).
5. Kharisov G. Kh., Sushchinskiy V. L. Spasatelnyye ustroystva i bezopasnost lyudey pri pozharakh [Life-saving appliances and security of people during fires]. *Problemy zashchity ob'yektov narodnogo khozyaystva ot pozharov* [Problems of protection of objects of the national economy from fires]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1980, pp. 203–207.
6. Rules of fire-prevention regime in the Russian Federation. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 07.05.2012, no. 19, art. 2415 (in Russian).
7. Kholshchevnikov V. V. Modelirovaniye zavisimostey mezhdru parametrami lyudskikh potokov [Modeling relationships between the parameters of human flows]. *Issledovaniya po osnovam arkhitekturnogo proyektirovaniya* [Research on the fundamentals of architectural design]. Tomsk, Izdatelstvo Tomskogo universiteta, 1982, pp. 36–53.
8. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Human flows in buildings, structures and their adjoining territory. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1983. 442 p.
9. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernost svyazi mezhdru parametrami lyudskikh potokov. Diplom No 24-S* [The law of connection between the parameters of human flows. Diploma No 24-S]. Moscow, RAYEN, MAANOI, MAANO Publ., 2006.
10. *Construction norms and rules of Russian Federation II-2–80. Fire regulations for designing of buildings and structures*. Moscow, Stroyizdat, 1981 (in Russian).
11. *Interstate Standard 12.1.004–91*. The system of standard for labor safety. Fire safety. General requirements*. Moscow, Standartinform Publ., 2006 (in Russian).
12. The method for determining the estimated fire risk in buildings, structures and buildings of various classes of functional fire hazard. Order of Emercom of Russia No. 382 on 30.06.2009. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2009, no. 161 (in Russian).

МАРИАННА ТОМАШКОВА, д-р техн. наук, доцент кафедры безопасности и качества продукции, Технический университет в г. Кошице (Словакия, 042 00, г. Кошице, Летна, 9; e-mail: marianna.tomaskova@tuke.sk)

УДК 614.841

АНАЛИЗ РИСКА ПОЖАРА В ЗАМКЕ КРАСНАЯ ГОРКА

Показано, что в выставочных залах и исторических объектах находятся, как правило, экспонаты значительной художественной и исторической ценности, которые могут быть представлены в открытом виде, в стеклянных витринах или депозитариях. Более старые объекты имеют довольно сложную деревянную конструкцию с ценными архитектурными украшениями. Приводится описание пожара в замке Красная Горка, ликвидация которого продолжалась трое суток.

Ключевые слова: пожар в историческом памятнике; риск; анализ риска.

Введение

Коллекции замкового музея Красная Горка, как и многообразие архитектурных стилей, привлекают посетителей чуть ли не со всего мира. Красная Горка является средневековым замком, находившимся в частном владении рода Андраши (рис. 1).



Рис. 1. Замок Красная Горка до пожара (внизу — ночной вид)

Достопримечательности замка

Основой экспозиционного фонда замка является прежде всего коллекция оружия, которая представлялась там уже в XIX веке.

К уникальным образцам принадлежат также так называемые бассетгорны, выставленные в малом музыкальном салоне, которые были сконструированы уроженцем из Братиславы придворным мастером Теодором Лотцем. В мире сохранилось всего восемь таких бассетгорнов, три из которых находятся в Красной Горке!

Экспозиция, размещенная в готическом дворце, отражает исторические события XVI–XVII веков, а именно периода турецкого господства в Угорщине. В малой палате дворца находится особенно редкое кресло эпохи Возрождения, произведенное в 1450 г., которое принадлежало Сигизмунду Малатеста из Римини.

К самым ценным коллекциям принадлежит настенная живопись, и в первую очередь портрет англосакского короля, святого мученика Освальда — покровителя погоды работы итальянского ренессансного мастера Якопо де Барбари (1500 г.). Внимания также заслуживает масляная живопись — картина “Редкий пример долгой жизни в Угорщине”, написанная художником из г. Левоча Иосифом Цаузиком в 1823 г. Картина примечательна не столько своими художественными достоинствами, сколько темой: на ней изображены Янош Ровин и его жена Сара. Из текста на венгерском языке под фигурами узнаем, что Янош жил 172 года, а его жена — 164 года и вместе они прожили в счастливом браке 147 лет!

По приказу последнего владельца замка Диониза помещения на нижнем этаже среднего замка были превращены в семейный мавзолей, где похоронено 16 членов семьи. В 1991 г. здесь состоялись последние похороны — графини Илоны Андраши (1917–1990) из Бетлярского рода, которая жила в изгнании в Будапеште.

Интерес вызывает и массивный мраморный рельеф выдающегося скульптора Юрая Залу, который был изготовлен для надгробной плиты графа Дьюлы

Андраши-старшего. Граф, будучи премьер-министром венгерского правительства и паладином Венгрии, короновал Франца Иосифа I как короля Венгрии, а его жена Елизавета, которую называли Сисси, стала венгерской королевой.

Осмотр замка заканчивается в часовне, где находится гроб Жофии Шереди. На северной и южной стенах часовни помещены два больших, богато украшенных полихроматических погребальных щита — покойницей семей Андраши и Палффи.

Пожар в Красной Горке

Пожар в Красной Горке (рис. 2) нанес колоссальный ущерб замку. В результате его в замке повреждены все крыши, покрытые деревянным гонтом, а также недавно реконструированный готический дворец. Обрушились часть крыши и стена в конгрегационном зале, откуда удалось спасти прак-



Рис. 2. Пожар в замке Красная Горка



Рис. 3. Замок Красная Горка после разрушительного пожара

тически не поврежденными картины, столы, стулья, а также шкаф с коллекциями. В результате пожара обрушилась крыша, обгорели балки и открытые витрины с экспонатами (рис. 3).

Коллекции из замка перевезли в г. Кошице, в помещения Словацкого технического музея и Восточно-словацкого музея.

Хронология возникновения пожара

Пожар возник в субботу 10 марта 2012 г. около 12:45. Несмотря на максимальные усилия пожарных им не удалось спасти крыши, покрытые деревянным гонтом (они сгорели полностью), а также интерьер верхнего готического замка. Крыша средневекового замка XIV столетия сгорела после полудня дотла.

В воскресенье после обеда к замку и в селение стали стягивать дополнительные силы — людей и технику. Из г. Кошице также было вызвано подкрепление.

В понедельник около 7 часов утра сотрудник оперативной группы пожарных г. Рожнява констатировал, что пожар в замке перешел в режим тления, но ветер утих и не раздувал искры.

Особенности пожаров в исторических объектах

Пожары в исторических объектах характеризуются значительной скоростью распространения и сильным задымлением, высокими температурами, которые могут стать причиной ослабления конструкций и обрушения потолков и лестниц. В случае возникновения пожара необходимо прежде всего предотвратить панику среди посетителей, которые не знают планировки объекта и местонахождения аварийных выходов.

При пожаре в исторических объектах могут возникать следующие риски:

- паника среди посетителей и персонала с возможным загромождением аварийных выходов;
- затруднение действий пожарных из-за недостаточного количества входов и защиты окон решетками, а также затруднения, связанные, как и в случае пожара на высоте, с тем, что пожарным приходится подниматься на верхние этажи по узким деревянным лестницам;
- сильное задымление и высокая температура;
- обрушение потолков, балконов и лестниц;
- эвакуация значительного количества пожарной нагрузки большой массы [1].

При пожаре кровельных конструкций могут возникать следующие риски:

- быстрое распространение пожара по сгораемым частям конструкции — кровельному материалу, изоляционному материалу, пыли, а также по по-

лым строительным конструкциям, сопровождаемое выделением большого количества дыма и высокой температурой;

- утрата несущей способности и обрушение конструкции; падение кусков кровли или расплавление кровельного материала и его стекание с крыши; утрата прочности конструкции и кровельного материала;
- отрыв горячей кровли от конструкции крыши, ее сползание или отлетание;
- возможность повреждения внутренних помещений, находящихся под крышей, водой при тушении или падающим кровельным материалом;
- опасность, угрожающая пожарным в результате падений и получения ожогов;

На распространение пожара решающее влияние оказывает легковоспламеняемость настила крыши и кровельного материала и тип конструкции крыши.

При пожаре кровельных конструкций могут возникать следующие *остаточные* риски:

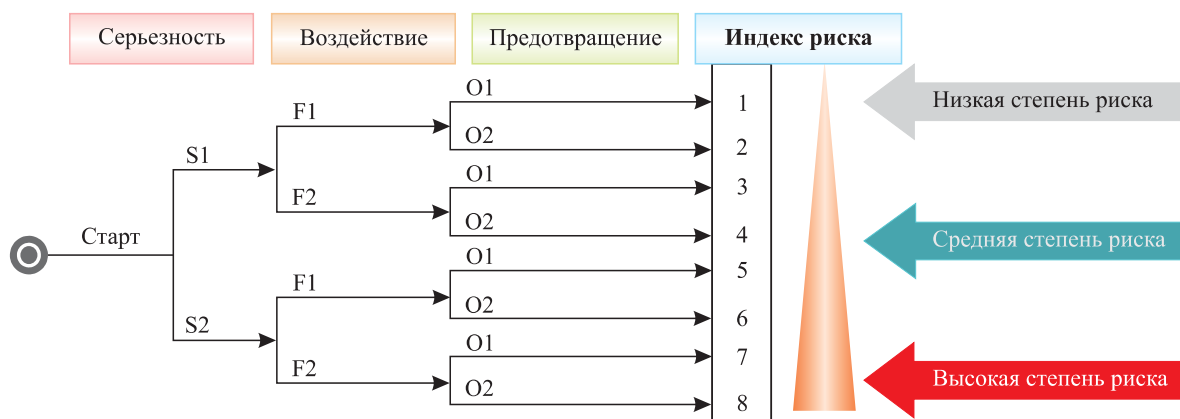
- в случае широких крыш трудность подачи тушащего материала на всю площадь горения с необходимой интенсивностью;
- наличие негорючей кровли (особенно железной), препятствующей эффективному тушению;
- наличие значительной пожарной нагрузки под конструкцией крыши;

- технологические конструкции и оснащение зданий над настилом крыши или в конструкции крыши (молниеотвод, вентиляция, световые проемы, оборудование для отвода тепла и дыма, электропроводка, коллекторы, антенны);
- очень трудный доступ к полым конструкциям крыши;
- повреждение свода или нанесение ущерба интерьеру исторических зданий водой, подаваемой на тушение;
- возникновение сосредоточенной нагрузки потолков обрушившейся конструкции крыши или водой, подаваемой на тушение;
- высотное положение крыши;
- трудно различимая конструкция крыши;
- пожарные мосты, отсутствие или повреждение противопожарных преград [1].

Анализ риска пожара при помощи графа рисков

Анализ риска пожара проводится с помощью графа рисков (см. таблицу, рис. 4).

Ущерб, нанесенный пожаром Красной Горке, был установлен на основании заключения эксперта и составил 8 048 880 евро, в том числе ущерб, нанесенный зданию, — 7 633 255 евро, экспонатам кол-



S	Серьезность ранения/ущерба
S1	Незначительное ранение (легкое, обратимое), например царапины, резаные раны, отек
S2	Серьезное ранение (обыкновенно необратимое, включая летальный исход), перелом, отрыв или раздробление конечности и др.
F	Частота и/или продолжительность воздействия (экспозиция E)
F1	Дважды или менее за рабочую смену (редко) или не более 15 мин (короткий период экспозиции)
F2	Более 2 раз за рабочую смену или более 15 мин
O	Возможность предотвращения или уменьшения ущерба
O1	Возможно при определенных условиях (например, если движущиеся части оборудования движутся со скоростью менее 0,25 м/с, работники осведомлены и др.)
O2	Невозможно

Рис. 4. Граф риска [2]

Анализ риска пожара исторического памятника с помощью графа риска

Опасное происшествие	Риск	Опасная ситуация	Потенциальный ущерб	Серьезность S1/S2	Частота/длительность F1/F2	Возможность предотвращения O1/O2	Индекс риска	Степень риска
Обвал крыши в результате пожара	Нарушение статической или динамической прочности конструкции	Обрушение конструкции	Ранения и попадание в завалы людей и пожарных	S2	F1	O2	8	Высокая
	Снижение механической прочности материалов строительной конструкции из-за изменения температуры	Повреждение и загромождение аварийных выходов	Удушение людей поднявшейся пылью	S2	F1	O1	5	Средняя
			Гибель засыпанных или увязших людей	S2	F1	O2	6	Средняя
			Опасность завала, падения или ранения во время ходьбы по обломкам обрушившихся конструкций	S2	F1	O2	6	Средняя
Пожар в историческом объекте	Увеличение нагрузки на конструкцию здания вследствие стихийного бедствия	Падение конструкции	Поражение электрическим током при прикосновении к поврежденной проводке и электрооборудованию	S2	F2	O2	8	Высокая
			Возникновение или расширение пожара (ожоги)	S2	F1	O1	5	Средняя
	Вскрытие и разборка конструкции с целью уменьшения повреждений экспонатов		Нанесенный огнетушащими материалами	S1	F1	O1	5	Средняя
	Проверка возможности использования стационарных огнетушителей			S1	F1	O1	5	Средняя
Пожар кровельной конструкции	Быстрое распространение пожара по легковоспламеняющимся частям конструкции, кровельному материалу, изоляции, сопровождаемое возникновением значительного количества дыма и высокой температурой	Скорость развития пожара	Опасность для пожарных в результате падений и получения ожогов	S2	F2	O2	8	Высокая
	Неоснащение здания над настилом крыши или в конструкции крыши громоотводами, вентилицией, световыми проемами, оборудованием для отвода тепла и дыма, электропроводкой		Поражение электрическим током при прикосновении к поврежденной проводке и электрооборудованию	S2	F1	O1	5	Средняя

лекций — 349 159 евро, дополнительному установочному оборудованию — 66 466 евро.

В замке применены следующие противопожарные меры:

- в чердачных помещениях установлена электрическая пожарная сигнализация;
- в готической башне находится водяной бак вместимостью 66 м³;
- установлены пожарные шланги (настенные гидранты);
- в помещениях размещены порошковые огнетушители;
- в 2000 г. было осуществлено противопожарное покрытие кровли;
- проведена специальная обработка экспонатов (консервация и др.);
- спринклерные системы расположены в местах, где огнетушащее вещество не может повредить экспонаты;
- установлены противопожарные двери.

Заключение

Согласно данным пожарных правдоподобной причиной возникновения пожара в замке Красная

Горка в марте 2012 г. было выжигание травы ромскими детьми, вследствие чего искры попали на крышу замка.

Пожаром были повреждены крыши, часть стен, уничтожена была также часть экспозиции, открытой в верхнем замке в 2011 г. Помощь в консервации и реставрации предметов музейных коллекций, поврежденных пожаром, предложили Венгерский народный музей в г. Будапеште, Технический музей в г. Брно и другие зарубежные организации, которые оказывают музею техническую и экспертную помощь с консервационными и реставрационными работами по спасению предметов, поврежденных пожаром и последующим за ним обрушением.

Данная статья написана благодаря поддержке в рамках оперативной программы исследования и разработки для проекта: Университетский научный парк ТЕХНИКОМ для инновационных приложений с поддержкой технологии знаний, код ITMS: 26220220182, финансируемый из Европейского фонда регионального развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Takticko-metodické postupy vykonávania zásahov, Metodický list č. 123, 2009. Nebezpečenstvo zrútenia konštrukcie. Ministerstvo vnútra SR, Prezídium hasičského a záchranného zboru [Тактическо-методические указания по проведению тушения пожаров. Методическая записка № 123, 2009. Опасность обрушения конструкции. Министерство внутренних дел Словакии и Президиум Пожарного и аварийно-спасательного корпуса]. URL : <http://elearnhazz-sk.webnode.sk/subory-na-stiahnutie/metodicke-listy> (дата обращения: 20.12.2013 г.).
2. TNI ISO TR 14121-2. Posudzovanie rizika. Praktické návody a príklady metód, 2009 [TNI ISO TR 14121-2. Оценивание риска. Практические инструкции и примеры методов, 2009]. URL : http://www.sutn.sk/eshop/public/standard_detail.aspx?id=107386 (дата обращения: 20.12.2013 г.).
3. Kaiser R., Kucera P., Pavlik T., Pokorny J. Inženýrský přístup při řešení požární bezpečnosti staveb // Sborník přednášek konference Požární bezpečnost stavebních objektů. — Ostrava: VŠB-TUO, FBI a SPBI, 2011. — С. 16–18 [Инженерный метод для обеспечения пожарной безопасности зданий // Сборник лекций конференции “Пожарная безопасность строительных объектов”. — Острава : Технический университет – горный институт, FBI a SPBI, 2011. — С. 16–18].

Материал поступил в редакцию 27 января 2014 г.

English

RISK ANALYSIS OF FIRE IN THE KRASNA HORKA CASTLE

TOMASHKOVA M., Doctor of Technical Sciences, Associated Professor of Department of Safety and Production Quality, Technical University in Košice (Letná, 9, SK-042 00, Košice, Slovakia; e-mail address: marianna.tomaskova@tuke.sk)

ABSTRACT

This article describes a large fire, which destroyed the Krasna Horka castle. There are presented causes and consequences of this fire, as well as it is evaluated a risk of fire using the technical standard TNI ISO TR 14121-2 “Risk evaluation. Practical guideline and examples of methods”. According

to the evaluation it is evident that the most important risks in this case are: destruction of the building construction, reduction of mechanical strength of materials due to high temperature, fast broadening of the fire through the building construction parts, smoke generation and high temperature. Taking into consideration these facts it is necessary to protect the historical sights by means of passive and active fire prevention.

The **passive fire prevention** consists in application of a special fire-stopping surface coating of the woody parts of the building supporting structure (frame and covering). The most important parts have to be coated with a special coating, which serves as a fire retardant. This coating is transformed into foam at 150 °C. It is necessary to elaborate a “Project of the fire prevention” for the new and renewed buildings. This project contents a division of the whole building into the individual segments according to the fire loading and fire risk.

The **active fire prevention** means application of self-acting extinguishing equipment, which is connected with the electric fire-alarm signalling. There are well-known sprinkler systems operating with water or foam. Application of the active fire prevention equipment is expensive investment, however in comparison to the possible damages caused due to a fire it pays off on all accounts.

Keywords: fire in historical building; risk of fire; risk analysis.

REFERENCES

1. *Tactical-methodical instructions for fire intervention. Methodical letter No. 123, 2009. Danger of construction collapse.* Ministry of Interior of the Slovak Republic. Available at: <http://elearnhazz-sk.web-node.sk/subory-na-stiahnutie/metodicke-listy> (Accessed 20 December 2013) (in Slovak).
2. *TNI ISO TR 14121-2. Risk evaluation. Practical guideline and examples of methods*, 2009. Available at: http://www.sutn.sk/eshop/public/standard_detail.aspx?id=107386 (Accessed 20 December 2013) (in Slovak).
3. Kaiser R., Kucera P., Pavlik T., Pokorny J. Engineering approach for solution of the building fire safety. In: *Proceedings of the Conference about the fire safety of building objects*. Ostrava, VŠB-Technical University of Ostrava, 2011, pp. 16–18 (in Slovak).



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

С. В. СОКОЛОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС Академии ГПС МЧС России (Россия, 129301, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: albrus-ssv1@yandex.ru)

Д. В. КОСТЮЧЕНКО, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров Академии ГПС МЧС России (Россия, 129301, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: d.v.kost@mail.ru)

УДК 614.842

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ НА ПОЖАРАХ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

Представлены результаты исследования степени работоспособности, надежности и эффективности функционирования различных видов пожарной автоматики в жилых домах Российской Федерации. Проведен анализ имеющейся статистической информации по пожарам и их последствиям за период с 2005 по 2012 гг., а также показателей, характеризующих состояние пожарной безопасности в жилых домах, оборудованных различными средствами пожарной автоматики. Показано, что полученные результаты позволяют проводить ориентировочные прогнозы пожарных рисков в зависимости от вида применяемой пожарной автоматики.

Ключевые слова: риск гибели при пожаре; эффективность пожарной автоматики; средства пожарной автоматики.

Введение

В период с 2005 по 2012 гг. (т. е. за 8 лет) на территории РФ было зарегистрировано 1 563 050 пожаров, в результате которых погибло 117 682 чел., средняя величина риска гибели людей составила около 7,5 чел. на 100 пожаров.

За аналогичный период в жилых домах было зарегистрировано 630 970 пожаров (40 % от общего числа пожаров), на которых погибло 90 517 чел. (77 % от общего числа погибших на пожарах), средняя величина риска гибели составила более 14,3 чел. на 100 пожаров [1].

На рис. 1 представлена динамика распределения риска гибели людей на пожарах в РФ и на пожарах в жилых домах РФ за рассматриваемый период.

На рис. 1 видно, что средние величины риска гибели на пожарах в жилых домах практически в 2 раза выше, чем аналогичные показатели в целом по стране, и почти в 5 раз выше, чем на всех остальных объектах пожаров, вместе взятых.

Таким образом, становится совершенно очевидным, что необходимо предусматривать комплекс действенных мероприятий по снижению пожарных рисков в жилом секторе, начиная с профилактики по предупреждению пожаров и заканчивая текущим и капитальным ремонтами или даже, в случае необходимости, реконструкцией жилого фонда страны.

Одним из возможных направлений, на наш взгляд, является применение во всех без исключения жилых домах средств пожарной автоматики. Ее основной задачей является не только раннее обнаружение, локализация и тушение очага возгорания,

но и прежде всего своевременное предупреждение людей о появлении опасных факторов пожара.

С целью оценки целесообразности внедрения пожарной автоматики в жилом секторе авторы провели анализ имеющейся статистической информации по пожарам и их последствиям в жилых домах, оборудованных различными видами пожарной автоматики, в период с 2005 по 2012 гг. Некоторые результаты этого анализа представлены в данной статье.

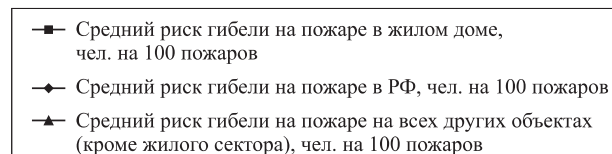
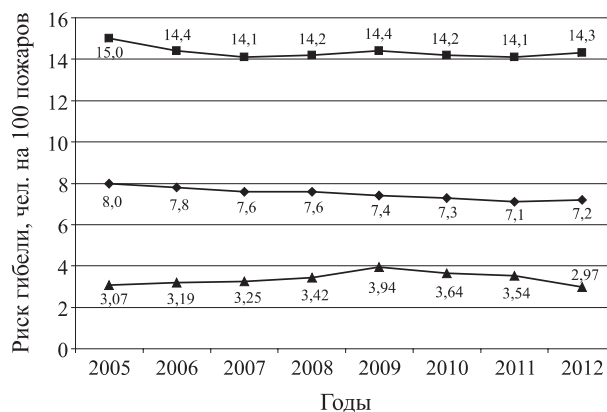


Рис. 1. Динамика риска гибели людей на пожарах в РФ и на пожарах в жилых домах РФ в период 2005–2012 гг.

Таблица 1. Результативность работы пожарной автоматики на пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Показатель	Всего в жилых домах, оборудо- ванных пожарной автоматикой	Задачу выполнила	Задачу не выполнила				Прочие причины
			Итого	в том числе			
				не выполнила	не сработала	отключена	
Количество пожа- ров, ед. (%)	6016	2640 (43,88)	3335 (55,44)	88 (1,46)	2358 (39,20)	889 (14,78)	41 (0,68)
Прямой ущерб, тыс. руб. (%)	235 038	157 112 (66,85)	95 942 (40,82)	31 458 (13,38)	55 867 (23,77)	8617 (3,67)	0 (0)
Число погибших, чел. (%)	322	165 (51,24)	156 (48,45)	12 (3,73)	97 (30,12)	47 (14,60)	1 (0,31)

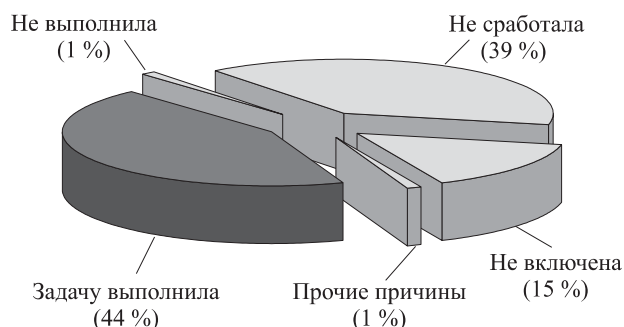
Результативность работы пожарной автоматики в жилых домах РФ

В табл. 1 представлен информационный отчет о результатах анализа работы различных видов пожарной автоматики при пожарах в жилых домах РФ за рассматриваемый период.

Согласно полученным данным всего в течение 2005–2012 гг. в жилых домах, оборудованных различными видами пожарной автоматики, было зарегистрировано в общей сложности 6016 пожаров, в результате которых погибло 322 чел., общий прямой ущерб составил 235 038 тыс. руб.

На рис. 2 приведены средние показатели работоспособности различных видов пожарной автоматики, используемой в жилых домах, в период с 2005 по 2012 гг.

Как видно из рис. 2 и данных табл. 1, свою непосредственную задачу на пожаре средства пожарной

**Рис. 2.** Работоспособность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

автоматики не выполнили более чем в 55 % случаев, из них только в 1,5 % случаев пожарная автоматика с задачей не справилась, в остальных 54 % она либо была отключена, либо находилась в неработоспособном состоянии.

Таким образом, можно предположить, что в результате несанкционированного отключения и/или неработоспособного состояния средств пожарной автоматики число жертв составляет 48 % от общего числа погибших на пожарах в жилых домах, оборудованных различными видами пожарной автоматики.

Однако, несмотря на низкую работоспособность средств пожарной автоматики в жилых домах РФ, средний риск гибели при пожарах в них составил 5,35 чел. на 100 пожаров, что в 2,7 раза ниже средней величины риска гибели на пожарах в жилых домах РФ за аналогичный период.

В настоящее время в жилых домах применяются различные средства пожарной автоматики. Рассмотрим результативность ее отдельных видов.

Результативность работы охранно-пожарной сигнализации в жилых домах РФ

За период с 2005 по 2012 гг. в жилых домах, оборудованных охранно-пожарной сигнализацией, было зарегистрировано 505 пожаров, в результате которых погибло 35 чел., общий прямой ущерб составил 55 983 тыс. руб. (табл. 2).

На рис. 3 представлены средние показатели работоспособности охранно-пожарной сигнализа-

Таблица 2. Результативность работы охранно-пожарной сигнализации при пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Показатель	Всего в жилых домах, оборудованных охранно-пожарной сигнализацией	Задачу выполнила	Задачу не выполнила				Прочие причины
			Итого	в том числе			
				не выполнила	не сработала	отключена	
Количество пожа- ров, ед. (%)	505	348 (68,91)	145 (28,71)	27 (5,35)	88 (17,43)	30 (5,94)	12 (2,38)
Прямой ущерб, тыс. руб. (%)	55 983	43 905 (78,43)	11 142 (19,90)	743 (1,33)	9672 (17,28)	727 (1,30)	936 (1,67)
Число погибших, чел. (%)	35	24 (68,57)	11 (31,43)	6 (17,14)	3 (8,57)	2 (5,71)	0 (0)

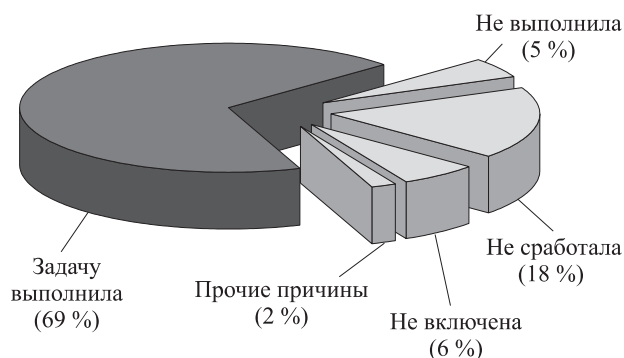


Рис. 3. Работоспособность охранно-пожарной сигнализации на пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

ции, используемой в жилых домах, в период 2005–2012 гг.

Как видно из рис. 3 и данных табл. 2, свою непосредственную задачу средства охранно-пожарной сигнализации выполнили в 68,9 % случаев, не выполнили в 28,7 %, в том числе: в 5,4 % случаев пожарная автоматика с поставленной задачей не справилась, в остальных 23,4 % она либо была отключена, либо находилась в неработоспособном состоянии.

Риск гибели при пожарах в домах, оборудованных охранно-пожарной сигнализацией, составил 6,93 чел. на 100 пожаров, что более чем в 2 раза ниже средней величины гибели при пожарах в жилых домах за аналогичный период.

Результативность работы пожарной сигнализации в жилых домах РФ

За рассматриваемый в статье период в жилых домах, оборудованных пожарной сигнализацией, было зарегистрировано 1842 пожара, в результате которых погибло 143 чел., общий прямой ущерб составил 134 148 тыс. руб. (табл. 3).

Свою непосредственную задачу на пожарах средства пожарной сигнализации выполнили в 36,59 % случаев, не выполнили в 62,8 %, в том числе: в 1,09 % случаев пожарная сигнализация с поставленной задачей не справилась, в остальных 61,73 % она либо была отключена, либо находилась в неработоспособном состоянии.

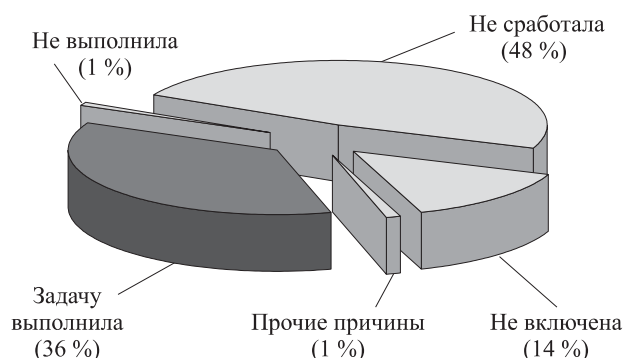


Рис. 4. Работоспособность пожарной сигнализации на пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Риск гибели при пожарах в жилых домах, оборудованных пожарной сигнализацией, составил 7,76 чел. на 100 пожаров, что в 1,8 раза ниже средней величины гибели при пожарах в жилых домах за аналогичный период.

На рис. 4 приведены средние показатели работоспособности пожарной сигнализации, используемой в жилых домах, за рассматриваемый период.

Результативность работы установок пожаротушения в жилых домах РФ

За период с 2005 по 2012 гг. в жилых домах, оборудованных установками пожаротушения, было зарегистрировано 119 пожаров, в результате которых погибло 6 чел., общий прямой ущерб составил 5138 тыс. руб. (табл. 4).

На рис. 5 представлены средние показатели работоспособности установок пожаротушения в жилых домах за рассматриваемый период.

Как видно из рис. 5 и данных табл. 4, свою непосредственную задачу установки пожаротушения выполнили в 19,3 % случаев, не выполнили в 71,43 % случаев, в том числе: в 9,24 % случаев установки пожаротушения с поставленной задачей не справились, в остальных 62,18 % они либо были не включены, либо находились в неработоспособном состоянии.

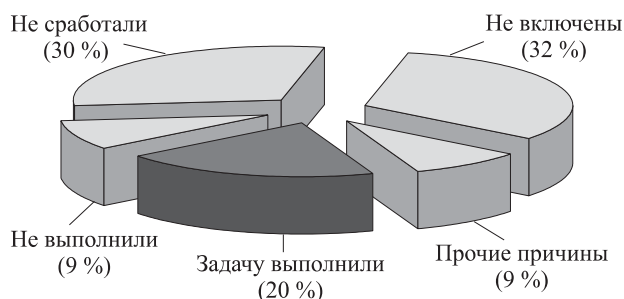
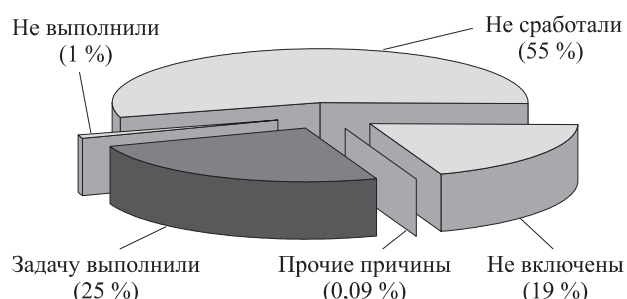
Риск гибели при пожарах в жилых домах, оборудованных установками пожаротушения, составил

Таблица 3. Результативность работы пожарной сигнализации при пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Показатель	Всего в жилых домах, оборудованных пожарной сигнализацией	Задачу выполнила	Задачу не выполнила				Прочие причины
			Итого	в том числе			
				не выполнила	не сработала	отключена	
Количество пожаров, ед. (%)	1842	674 (36,59)	1157 (62,81)	20 (1,09)	884 (47,99)	253 (13,74)	11 (0,60)
Прямой ущерб, тыс. руб. (%)	134 148	84 672 (63,12)	52 332 (39,01)	21 884 (16,31)	26 126 (19,48)	4322 (3,22)	0 (0)
Число погибших, чел. (%)	143	53 (37,06)	87 (60,84)	3 (2,10)	57 (39,86)	27 (18,88)	3 (2,10)

Таблица 4. Результативность работы установок пожаротушения при пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Показатель	Всего в жилых до- мах, оборудован- ных установками пожаротушения	Задачу выполнили	Задачу не выполнили				Прочие причины
			Итого	в том числе			
				не выполнили	не сработали	отключены	
Количество пожа- ров, ед. (%)	119	23 (19,33)	85 (71,43)	11 (9,24)	36 (30,25)	38 (31,93)	11 (9,24)
Прямой ущерб, тыс. руб. (%)	5138	536 (10,43)	4301 (83,71)	4010 (78,05)	8 (0,16)	283 (5,51)	301 (5,86)
Число погибших, чел. (%)	6	1 (16,70)	5 (83,30)	0 (0)	0 (0)	5 (83,30)	0 (0)

**Рис. 5.** Работоспособность установок пожаротушения на пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.**Рис. 6.** Работоспособность систем противодымной защиты на пожарах в жилых домах в период 2005–2012 гг.

5,04 чел. на 100 пожаров, что в 2,8 раза ниже средней величины гибели при пожарах в жилых домах за аналогичный период.

Результативность работы систем противодымной защиты на пожарах в жилых домах РФ

За период с 2005 по 2012 гг. в жилых домах, оборудованных системами противодымной защиты (ПДЗ), было зарегистрировано 3317 пожаров, в результате которых погибло 128 чел., общий прямой ущерб составил 52 721 тыс. руб. (табл. 5).

Свою непосредственную задачу на пожарах система противодымной защиты выполнила в 24,63 % случаев, не выполнила в 75,28 % случаев, в том числе: в 0,84 % случаев система с поставленной задачей не справилась, в остальных 74,43 % она либо была отключена, либо находилась в неработоспособном состоянии.

Риск гибели при пожарах в жилых домах, оборудованных системами противодымной защиты, составил 3,86 чел. на 100 пожаров, что в 3,7 раза ниже средней величины гибели при пожарах в жилых домах за аналогичный период.

На рис. 6 представлены средние показатели работоспособности систем противодымной защиты, используемых в жилых домах, за рассматриваемый период.

Результативность работы систем оповещения о пожаре в жилых домах РФ

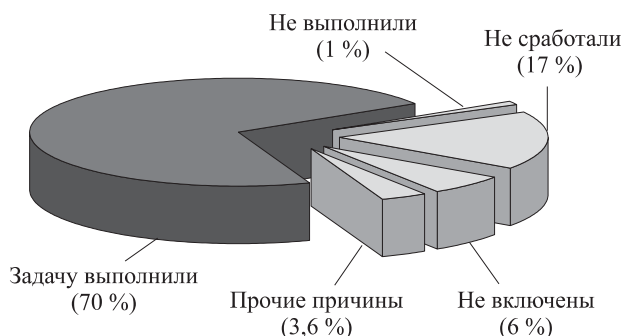
За период с 2005 по 2012 гг. в жилых домах, оборудованных системами оповещения о пожаре, было зарегистрировано 84 пожара, в результате которых погибло 8 чел., общий прямой ущерб составил 32 161 тыс. руб. (табл. 6).

Таблица 5. Результативность работы систем противодымной защиты в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Показатель	Всего в жилых домах, оборудованных системами ПДЗ	Задачу выполнили	Задачу не выполнили				Прочие причины
			Итого	в том числе			
				не выполнили	не сработали	отключены	
Количество пожаров, ед. (%)	3317	817 (24,63)	2497 (75,28)	28 (0,84)	1828 (55,11)	641 (19,32)	3 (0,09)
Прямой ущерб, тыс. руб. (%)	52751	44 834 (84,99)	7846 (14,87)	327 (0,62)	3959 (7,51)	3560 (6,75)	71 (0,13)
Число погибших, чел. (%)	128	64 (50,00)	64 (50,00)	3 (2,34)	48 (37,50)	13 (10,16)	0 (0)

Таблица 6. Результативность работы систем оповещения на пожаре в жилых домах в период 2005–2012 гг.

Показатель	Всего в жилых домах, оборудо- ванных системами оповещения	Задачу выполнили	Задачу не выполнили				Прочие причины
			Итого	в том числе			
				не выполнили	не сработали	отключены	
Количество пожа- ров, ед. (%)	84	59 (70,24)	22 (26,19)	1 (1,19)	14 (16,67)	5 (5,95)	3 (3,57)
Прямой ущерб, тыс. руб. (%)	32 161	6608 (20,55)	25 502 (79,29)	4496 (13,98)	21 006 (65,32)	100 (0,31)	51 (0,16)
Число погибших, чел. (%)	8	5 (62,50)	3 (37,50)	0 (0)	2 (25,00)	0 (0)	0 (0)

**Рис. 7.** Работоспособность систем оповещения о пожаре в жилых домах в период 2005–2012 гг.

На рис. 7 приведены средние показатели работоспособности систем оповещения в жилых домах в период 2005–2012 гг.

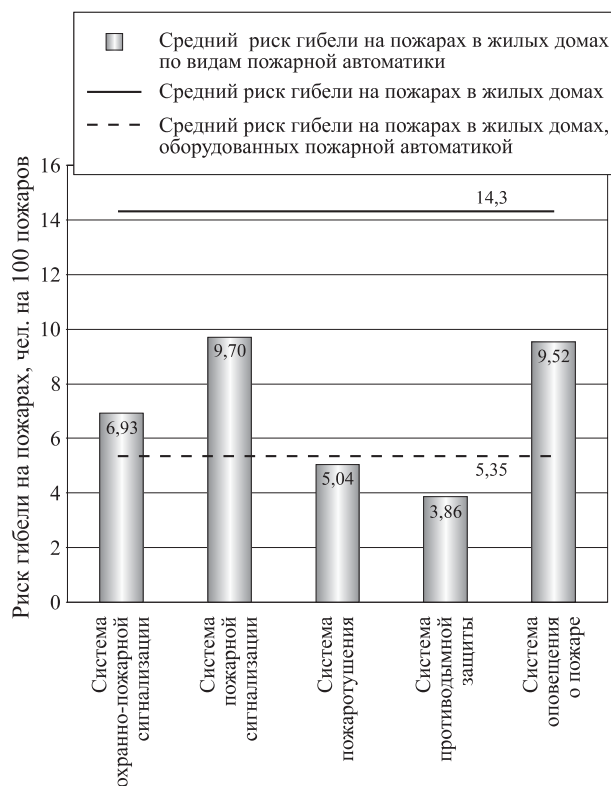
Как видно из рис. 7 и данных табл. 6, свою непосредственную задачу на пожарах системы оповещения выполнили в 70,24 % случаев, не выполнили в 26,19 % случаев, в том числе: в 1,19 % случаев системы оповещения о пожаре с поставленной задачей не справились, в остальных 22,62 % они либо были отключены, либо находились в неработоспособном состоянии.

Риск гибели при пожарах в жилых домах, оборудованных системами оповещения о пожаре, составил 9,52 чел. на 100 пожаров, что в 1,5 раза ниже средней величины гибели при пожарах в жилых домах за аналогичный период.

Эффективность работы пожарной автоматики в жилых домах РФ

На рис. 8 приведены средние величины риска гибели на пожарах в жилых домах по различным видам пожарной автоматики за 2005–2012 гг.

На рис. 8 сплошная горизонтальная линия отражает среднюю величину риска гибели на пожарах в жилых домах страны за период с 2005 по 2012 гг., пунктирная — среднюю величину риска гибели на пожарах в жилых домах, оборудованных различными средствами пожарной автоматики, за аналогичный период.

**Рис. 8.** Средние значения риска гибели при пожарах в жилых домах по различным видам пожарной автоматики за 2005–2012 гг.

При этом стоит обратить внимание на низкую степень надежности и работоспособности при эксплуатации различных видов пожарной автоматики при пожарах в жилых домах. Это является следствием несогласованности действий со стороны как надзорных органов, так и управляющих и обслуживающих компаний по организации проведения работ технического обслуживания, диагностики, планово-предупредительного ремонта и контроля, в том числе фактического наличия средств пожарной автоматики, установленных ранее в помещениях жилых домов подрядными и строительными организациями.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Даже при существующем состоянии дел, когда

более чем в 50 % случаев установленные автоматические системы пожарной безопасности находятся в неисправном или неработоспособном состоянии, средняя величина риска гибели человека на пожаре в жилых домах, оборудованных каким-либо из видов средств пожарной автоматики, почти в 3 раза ниже, чем в жилых домах, не оборудованных сред-

ствами пожарной автоматики. Об аналогичных результатах применения средств пожарной автоматики в жилом секторе говорят и зарубежные исследования, и опыт [2, 3]. Так, например, согласно [3] риск гибели на пожарах в жилых домах США, оборудованных дымовыми пожарными извещателями, в 2 раза ниже, чем в домах без средств автоматики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность : статистические сборники. — М. : ВНИИПО, 2006–2013.
2. Ahrens M. U. S. Experience with smoke alarms and other fire alarms. NFPA, Fire Analysis and Research, Quincy, MA, 2003. — 85 p.
3. Experience with smoke alarms, 04/07. NFPA, Fire Analysis and Research, Quincy, MA, 2006.

Материал поступил в редакцию 21 января 2014 г.

English

EFFECTIVENESS OF FIRE AUTOMATICS ON FIRES IN HOMES

SOKOLOV S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Management and Economy Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: albrus-ssv1@yandex.ru)

KOSTYUCHENKO D. V., Postgraduate Student of Faculty of Research Pedagogical-Staff Training, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: d.v.kost@mail.ru)

ABSTRACT

The article briefly presents the results of a research of serviceability, reliability, and efficiency of various types of fire automatic devices in residential houses of the Russian Federation. As one of the possible directions of reducing the risk of death at home fires, the article has been considered for use in all residential buildings of various types of fire automatic devices. To that end an analysis of the available Russian fire statistical information for the period from 2005 to 2012 was made.

The analysis of the fire automatics devices in residential homes has shown that more than 50 per cent of the fire safety systems were not working condition.

However the average risk of death in a residential building equipped with any of the types of fire automatic devices is almost three times lower than in homes are not equipped with fire-prevention equipment.

In addition the results of analysis allow to make forecasts of fire deaths risks, depending on the type of fire automatic devices in the residential buildings.

Keywords: risk of death in a fire; effectiveness of fire automatic; means of fire automatics.

REFERENCES

1. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost. Statisticheskiye sborniki* [Fires and fire safety. Statistical bulletins]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2006–2013.
2. Ahrens M. U. S. *Experience with smoke alarms and other fire alarms*. NFPA, Fire Analysis and Research, Quincy, MA, 2003. 85 p.
3. *Experience with smoke alarms*, 04/07. NFPA, Fire Analysis and Research, Quincy, MA, 2006.

С. А. ШАРОВАРНИКОВ, канд. техн. наук, научный консультант ООО НПО “Актив-Альянс” (Россия, 119602, г. Москва, ул. Академика Анохина, 4, кор. 6; e-mail: oil@actall.ru)

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. В. ЛЯПИН, канд. техн. наук, директор Научно-исследовательского института экспертизы и инжиниринга Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

УДК 614.84.664

ТУШЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ ФТОРСИНТЕТИЧЕСКИМИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯМИ ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ

Показано, что для тушения смесевых топлив можно тушить подслоиным способом, но при использовании пенообразователей, в состав которых, наряду с фторированными стабилизаторами, входят полимерные компоненты. Даны результаты исследований в лабораторных условиях по выявлению оптимальной концентрации пенообразователя с полимерным компонентом при подслоином тушении смесевых топлив. Установлено, что концентрация пенообразователя в водном растворе сильно влияет и на время тушения, и на удельный расход пены. Установлено также, что термическая устойчивость пены растет пропорционально концентрации полимерного компонента. В результате исследований предложен механизм формирования пенного слоя при подслоином тушении смесевых топлив.

Ключевые слова: пожаротушение; подслоиный способ тушения; смесевые топлива; пенообразователь; полимерный компонент; фторированные поверхностно-активные вещества.

Смесевые топлива, в состав которых входят спирты, а также бензины “экстра”, АИ-95 и АИ-98 не могут быть потушены способами и пенообразователями, используемыми для тушения обычных бензинов и углеводородов. Тушение смесевых топлив требует применения особых пенообразователей.

По мере освоения менее опасных для окружающей среды автомобильных топлив, таких как бензин с добавками спиртов, актуальной становится проблема обеспечения пожарной безопасности резервуаров со смесевыми топливами. В экологическом аспекте смесевые топлива имеют явное преимущество перед бензином, поскольку не загрязняют атмосферу тяжелыми металлами и выделяют минимальное количество оксида углерода. Содержание спирта в смесевых топливах достигает 20 % масс.

Способ тушения пожаров в резервуарах, при котором низкократную пену подают в основание резервуара — непосредственно в слой горючего [1–3], очень удобен в реализации. Предварительные исследования показали принципиальную возможность применения подслоиного способа для тушения пламени смесевых топлив, но при условии использования особых рецептур пенообразователей, в состав которых, наряду с фторированными стабилизаторами, входят полимерные компоненты. При контакте пены со смесевым топливом полимер об-

разует твердую разделительную пленку на поверхности горючего и тем самым обеспечивает устойчивость пены.

В лабораторных условиях были проведены исследования по выявлению оптимальной концентрации пенообразователя с полимерным компонентом при подслоином тушении смесевых топлив.

В лабораторную установку одновременно с пеной подавали воздух, который приводил к непрерывному перемешиванию жидкости внутри горелки. Это позволяло постоянно обновлять поверхностный слой на границе с пеной. Эксперименты проводились с использованием пенообразователя, который, наряду с фторированными поверхностно-активными веществами, содержал полимерный компонент — полисахарид.

Экспериментально на стендовой установке было определено время тушения пламени при различной интенсивности подачи пены, а также расход пены, затрачиваемой на тушение единицы площади поверхности.

Результаты экспериментальных исследований представлены в виде графиков зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены (рис. 1).

Как видно из рис. 1, кривые имеют традиционный вид гипербола, левая часть которых круто поднимается в область больших значений времен при

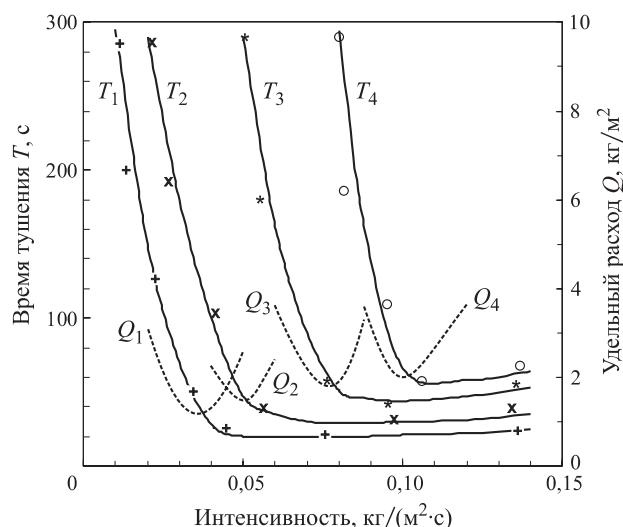


Рис. 1. Зависимость времени тушения смесового топлива с содержанием полярных растворителей 0 % (T_1), 10 % (T_2), 20 % (T_3), 30 % (T_4) и расхода 6 %-ного водного раствора пенообразователя ФС-600 (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) от интенсивности подачи пены

определенной интенсивности подачи пены. Эта интенсивность называется критической, поскольку тушение может произойти только теоретически и за бесконечно большой отрезок времени. В этом случае скорость разрушения пены практически равна скорости ее подачи. По мере повышения интенсивности подачи пены время тушения пламени снижается, но, достигнув определенной величины, остается далее практически неизменной. Это объясняется, с одной стороны, высокой вязкостью пены, а с другой — низкой сдвиговой прочностью пенной структуры. Поэтому при сильном нажиме на слой пены происходит движение массы вверх, а не вперед. При высокой интенсивности увеличивается средняя толщина слоя, т. е. часть пены расходуется бесполезно. Пена, вместо того чтобы продвигаться вперед, начинает резко увеличивать свою толщину в месте ее подачи. Поэтому кривые расхода пены, также определенные в эксперименте, имеют экстремальный характер — минимум при некоторой интенсивности. Удельный расход нарастает, т. е. затраты пены становятся больше, несмотря на повышение интенсивности ее подачи. Особыми свойствами пены определяется характер кривых тушения.

Концентрация пенообразователя в водном растворе сильно влияет как на время тушения пламени, так и на положение минимума на кривых удельного расхода пены.

Для количественного описания механизма тушения необходимо учесть основные факторы, которые влияют на процесс движения пены по поверхности горючего [4–6]. Выделим основные составляющие процесса:

- секундный расход пены, подаваемой на всю поверхность;
- скорость термического разрушения пены от факела пламени;
- скорость контактного разрушения пены со стороны горючего при растекании пены по поверхности смесового топлива;
- скорость контактного разрушения на боковой поверхности всплывающей пены;
- скорость накопления пены на поверхности горючего.

Представим уравнение материального баланса пены, описывающее контактное поверхностное, контактное боковое и термическое разрушение пены. При этом учитывается, что скорость термического разрушения зависит от степени покрытия поверхности пеной в соответствии с работой [7]:

$$q \, dt = U_o (1 - \theta) \theta S_o \, dt + U_k S_b \, dt + U_k S_o \theta \, dt + \rho h S_o \, dt, \quad (1)$$

где q — расход пены, кг/с;

t — время, с;

U_o — скорость термического разрушения пены в начальный период времени, м/с;

θ — степень покрытия поверхности горючей жидкости пеной; $\theta = S_b / S_o$;

S_b, S_o — площадь поверхности горючего и пены соответственно, m^2 ;

ρ — плотность пены, kg/m^3 ;

h — средняя толщина пенного слоя, м;

U_k — удельная контактная скорость разрушения пены, $kg/(m^2 \cdot s)$.

Параметр U_o в работе [7] описан формулой

$$U_o = u_m^o Q_s / Q_u, \quad (2)$$

где u_m^o — удельная массовая скорость выгорания, $kg/(m^2 \cdot s)$;

Q_s, Q_u — удельная теплота испарения соответственно горючего и воды, Дж/кг.

В результате решения дифференциального уравнения (1) можно получить в явном виде зависимость времени тушения t_T от таких параметров, как интенсивность подачи, и других показателей, которые входят в выражение

$$t_T = \frac{\rho h}{[4U_o (J - B)]^{1/2}} \arctg \frac{U_k + U_o}{[4U_o (J - B)]^{1/2}}, \quad (3)$$

где J — интенсивность подачи пены, $kg/(m^2 \cdot s)$;

B — коэффициент, зависящий от вида пенообразователя и параметров пены, имеющий размерность времени;

$$B = \frac{U_k S_b}{S_o} + \frac{U_o}{4} + \frac{U_k}{2} + \frac{U_k^2}{4U_o}. \quad (4)$$

Для проведения количественного анализа влияния концентрации полимерного компонента упростим выражение (4), представив его первым членом ряда Маклорена (при этом относительная погрешность результатов для времени тушения до 2 мин составит не более 15 %):

$$t_{\tau} = \frac{\rho h (U_k + U_o)}{4 U_o (J - B)}. \quad (5)$$

Увеличение доли полимерного компонента в рабочем растворе ведет к повышению вязкости водного раствора в пленках и вязкости пены в целом, что вызовет соответствующие изменения в термической устойчивости пены и ее вязкости.

Экспериментально установлено, что термическая устойчивость пены растет пропорционально концентрации полимерного компонента. Некоторые результаты экспериментальных измерений представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что в исследованном диапазоне концентраций термическая устойчивость, выраженная величиной, обратной удельной скорости разрушения пены, удовлетворительно описывается линейной зависимостью в виде эмпирической формулы

$$U_o = \frac{(1/U_1)/C_1}{C} = \frac{\beta}{C}, \quad (6)$$

где U_1 — удельная скорость термического разрушения пены при концентрации полимера C_1 ;
 C — концентрация полимера;

$$\beta = (1/U_1)/C_1. \quad (6a)$$

Параметр β зависит от природы полимера, фторсодержащих компонентов, молекулярной массы спирта и его доли в смесевом топливе.

Экспериментальные исследования зависимости средней толщины пенного слоя после тушения пламени в модельных горелках от содержания полимерного компонента показали, что по мере роста доли полимера средняя толщина пенного слоя увеличивается. Как и в случае определения термической стабильности, средняя толщина пенного слоя линейно возрастает с концентрацией полимера в рабочем растворе.

Линейная зависимость может быть представлена эмпирической формулой

$$h = h_0 + \alpha C, \quad (7)$$

где h_0 — начальная толщина пенного слоя при концентрации полимера C_0 ;

$$\alpha = h_1/C_1;$$

h_1 — средняя толщина пенного слоя при концентрации полимера C_1 , т. е. это удельная толщина пенного слоя.

Результаты экспериментальных измерений представлены на рис. 3.

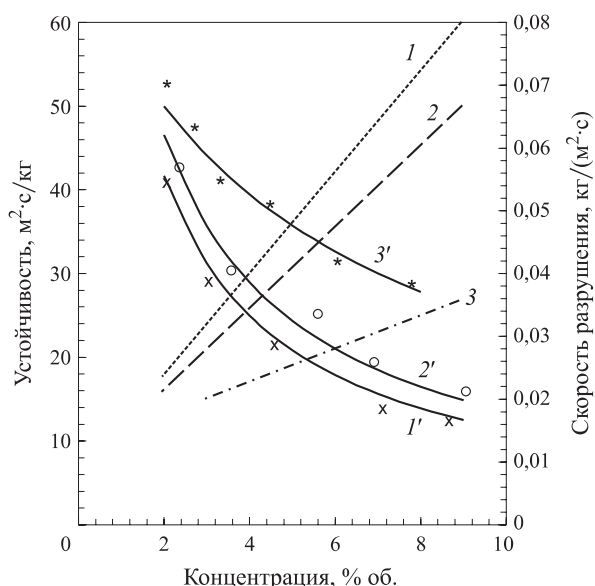


Рис. 2. Зависимость устойчивости (1–3) и удельной скорости термического разрушения (1'–3') пен, полученных из пенообразователей с полимерным компонентом ФС-600 (1, 1'), Ансулит (2, 2') и Гидрал ARC (3, 3'), от доли полимерного компонента

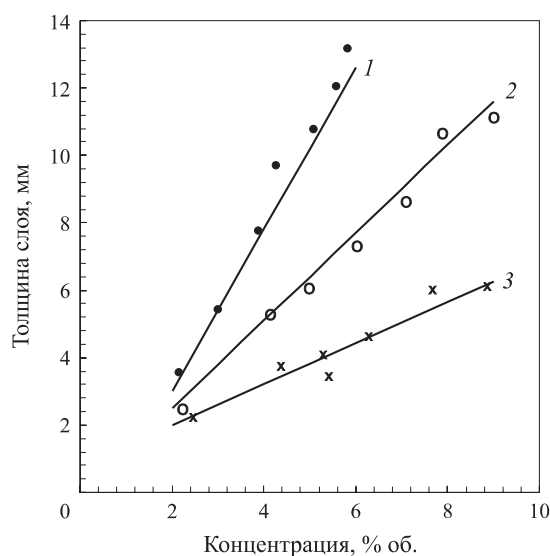


Рис. 3. Зависимость средней толщины пенного слоя для пен, полученных из композиций Гидрал ARC (1), ФС-600 (2) и Ансулит (3), от доли полимерного компонента

Подставив выражения (7) для h и (6) для U_o в формулу (5), получим:

$$t_{\tau} = \frac{\rho (h_0 + \alpha C) (U_k + \beta/C)}{4 (\beta/C) (J - B)}, \quad (8)$$

и, соответственно,

$$B \equiv \frac{U_k S_b}{S_o} + \frac{\beta}{4C} + \frac{U_k}{2} + \frac{U_k^2 C}{\beta}. \quad (9)$$

Анализ соотношений (8) показывает, что зависимость времени тушения от концентрации поли-

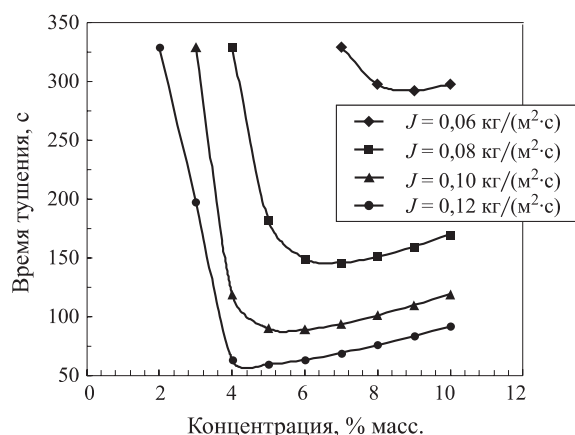


Рис. 4. Зависимость времени тушения пламени смешанного топлива (20 % этанола) от концентрации пенообразователя с полимерным компонентом ФС-600 при различной интенсивности подачи пены

мерного компонента проходит через минимум, положение которого указывает на оптимальное содержание полимера в рабочем растворе пенообразователя.

В формуле (8), как и в формуле (4), параметр B является критической величиной интенсивности подачи пены, поскольку при $J = B$ время тушения стремится к бесконечности. Следовательно, и критическая интенсивность зависит от содержания полимерного компонента в соответствии с формулой (9).

На рис. 4 показана зависимость времени тушения пламени смешанного топлива, содержащего бензин АИ-92 и 20 % этанола, от концентрации пенообразователя с полимерным компонентом ФС-600.

Измерения проведены при различной интенсивности подачи пены. Сопоставление экспериментальных результатов с расчетными, полученными по формуле (8), показало их удовлетворительное совпадение.

Таким образом, в результате исследований предложен механизм формирования пенного слоя при подслоном способе тушения пожаров смешанных топлив. Обосновано существование оптимальной концентрации пенообразователей с полимерным компонентом в водном растворе, которая позволяет тушить пожар с максимальной скоростью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П. Подслоное тушение // Пожарное дело. — 1995. — № 1. — С. 40–41.
2. Шароварников А. Ф., Ефимов А. А. Перспектива разработки и освоения “подслоного” способа тушения нефтей и нефтепродуктов в резервуарах // Пожаровзрывобезопасность. — 1992. — Т. 1, № 1. — С. 62–67.
3. Шароварников А. Ф., Коловатов В. П., Грашичев Н. К. Разработка и испытание отечественного варианта подслоного способа тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах низкократной пеной // Транспорт и хранение нефтепродуктов: науч.-техн. информ. сб. — М.: ЦНИИТЭнефтехим. — Вып. 4. — 1991. — С. 17.
4. Молчанов В. П., Шароварников С. А. Закономерности тушения пожаров в резервуарах подслоной системой // Материалы Четвертой международной конференции “Информатизация систем безопасности” (ИСБ-95), Международных форумов информатизации и “Технологии безопасности-95”. Москва, 17 ноября 1995 г. — М.: ВИПТШ МВД РФ, 1995. — 243 с.
5. Корольченко А. Я., Шароварников С. А. Тушение смешанных топлив фторсодержащими пенообразователями // Материалы Четвертой международной конференции “Информатизация систем безопасности” (ИСБ-95), Международных форумов информатизации и “Технологии безопасности-95”. Москва, 17 ноября 1995 г. — М.: ВИПТШ МВД РФ, 1995. — 243 с.
6. Шароварников С. А., Корольченко А. Я., Крымов А. В. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров со смешанным топливом // Матер. науч.-практ. конф. Москва, 3 декабря 1996 г. — М.: МИПБ МВД России, 1996. — 183 с.
7. Грашичев Н. К. Закономерности тушения нефтепродуктов подачей пены в слой горючего: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: ВИПТШ МВД РФ, 1991. — 21 с.

Материал поступил в редакцию 10 апреля 2014 г.

English

EXTINGUISHING OF THE MULTICOMPONENT COMPOSITE FUELS BY AQUEOUS FILM FORMING FOAM BY SUBLAYER WAY

SHAROVARNIKOV S. A., Candidate of Technical Sciences, Scientific Consultant, OOO NPO “Aktiv-Alyans” (Scientific and Production Establishment “Aktiv-Alyans” Ltd) (Akademika Anokhina St., 4/6, Moscow, 119602, Russian Federation; e-mail address: oil@actall.ru)

KOROL'CHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

LYAPIN A. V., Candidate of Technical Sciences, Director of Research Institute "Consultation and Engineering", Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

It is shown that for suppression of the composite fuels by sublayer way we should use foaming agents which structure along with fluorinated stabilizers includes polymeric components. Results of laboratory researches on detection of the optimal concentration of foaming agent with polymeric component for sublayer extinguishing of the composite fuels are given. It is determined that concentration of foaming agent in a water solution exerts influence on the period of suppression and foam rate. It is also determined that thermal stability of foam grows in proportion to concentration of a polymeric component. As a result of researches it is offered the mechanism of a foam layer formation for sublayer extinguishing of the composite fuels.

Keywords: fire extinguishing; sublayer extinguishing; composite fuels; foaming agent; polymeric component; fluorinated surfactants.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P. Podslonnoye tusheniye [Sublayer suppression]. *Pozharnoye delo — Fire Fighting*, 1995, no. 1, pp. 40–41.
2. Sharovarnikov A. F., Efimov A. A. Perspektiva razrabotki i osvoyeniya "podslonnogo" sposoba tusheniya neftey i nefteproduktov v rezervuarakh [Perspective of development and application of "sublayer" way of suppression of oil and oil products in tanks]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1992, vol. 1, no. 1, pp. 62–67.
3. Sharovarnikov A. F., Kolovratov V. P., Grashichev N. K. Razrabotka i ispytaniye otechestvennogo varianta podslonnogo sposoba tusheniya pozharov nefteproduktov v rezervuarakh nizkokratnoy penoy [Development and testing of domestic option of a sublayer way of suppression of oil products fires in tanks by low expansion foam]. *Transport i khraneniye nefteproduktov: nauch.-tekhn. inform. sb.* [Transportation and storage of oil products. Scientific and technical information collection]. Moscow, TsNIITeftekhim Publ., 1991, p. 17.
4. Molchanov V. P., Sharovarnikov S. A. Zakonomernosti tusheniya pozharov v rezervuarakh podslonnoy sistemoy [Regularities of fire suppression in tanks by sublayer system]. *Materialy Chetvertoy mezhdunarodnoy konferentsii "Informatizatsiya sistem bezopasnosti" (ISB-95), Mezhdunarodnykh forumov informatizatsii i "Tekhnologii bezopasnosti-95"* [Materials of the Fourth International Conference "Informatization of Safety Systems" (ISB-95), International forums of informatization and "Technology of Safety-95". Moscow, 17 November, 1995]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1995. 243 p.
5. Korol'chenko A. Ya., Sharovarnikov S. A. Tusheniye smesevykh topliv ftorsoderzhashchimi penoobrazovatelyami [Suppression of composite fuels by fluorine-containing foam]. *Materialy Chetvertoy mezhdunarodnoy konferentsii "Informatizatsiya sistem bezopasnosti" (ISB-95), Mezhdunarodnykh forumov informatizatsii i "Tekhnologii bezopasnosti-95"* [Materials of the Fourth International Conference "Informatization of Safety Systems" (ISB-95), International forums of informatization and "Technology of Safety-95". Moscow, 17 November, 1995]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1995. 243 p.
6. Sharovarnikov S. A., Korol'chenko A. Ya., Krymov A. V. Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti rezervuarov so smesevym toplivom. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ensuring of fire safety of tanks with composite fuels. Materials of scientific and practical conference. Moscow, 3 December, 1996]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1996. 183 p.
7. Grashichev N. K. Zakonomernosti tusheniya nefteproduktov podachey peny v sloi goryuchego: avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk [Regularities of suppression of oil products by supplying of foam in a fuel layer. Abstracts of cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1991. 21 p.

А. А. КОРНИЛОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной автоматики Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: kornilov_alexei1@mail.ru)

А. А. БОРОДИН, преподаватель кафедры пожарной автоматики Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

П. И. ЗЫКОВ, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

А. Т. ХУЖАЕВ, курсант Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 614.8:621.64

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ПОДАЧИ ИНЕРТНОГО ГАЗА ПРИ ФЛЕГМАТИЗАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Показано, что актуальным вопросом по применению систем флегматизации инертным газом объема нефтяных резервуаров, в том числе азотом мембранного разделения, является выбор оптимальной схемы его подачи с целью минимизации требуемого количества флегматизатора и обеспечения равномерного распределения концентраций кислорода. Приведены основные результаты экспериментального исследования различных схем продувки азотом горизонтальных резервуаров.

Ключевые слова: флегматизация; инертный газ; азот; резервуар; нефтепродукты.

Одним из способов обеспечения пожарной безопасности процессов подготовки и проведения ремонтных работ на резервуарах для нефти и нефтепродуктов является флегматизация их объема инертными газами. Метод флегматизации заключается в разбавлении взрывоопасной среды до состояния, при котором в ней невозможно распространение пламени [1]. В качестве инертного разбавителя можно использовать азот мембранного разделения, представляющий собой атмосферный воздух с пониженным содержанием кислорода, концентрация которого может варьироваться от 0,1 до 10 % об. в зависимости от модели и настроек мембранного модуля. Существенное преимущество данного способа состоит в возможности получения флегматизатора непосредственно на объекте и, как следствие, в отсутствии необходимости в его регулярной закупке и хранении. Внедрение систем флегматизации на базе технологии мембранного воздухоразделения, несмотря на их преимущества, сдерживается относительно высокой стоимостью, поэтому актуальным вопросом является оптимизация основных параметров системы при условии обеспечения пожаровзрывобезопасности. В значительной степени стоимость

мембранного модуля зависит от его производительности по инертному газу. Проблема осложняется тем, что при обычной продувке значительная часть флегматизатора удаляется из резервуара и не участвует в разбавлении парогазовой среды [2–5]. В связи с этим создание условий рационального использования азота мембранного разделения является одной из основных задач, решение которой позволит повысить экономическую эффективность рассматриваемого способа.

В работе [6] представлены основные результаты исследования процесса флегматизации азотом мембранного разделения объема вертикальных резервуаров. Экспериментальным путем было выявлено, что при подаче азота мембранного разделения в верхнюю часть вертикального резервуара параллельно его основанию требуется увеличение времени флегматизации на 25 % по сравнению с его подачей в нижнюю часть. Это объясняется худшими условиями перемешивания инертного газа в защищаемом объеме, поскольку азот мембранного разделения обладает не только меньшей молекулярной массой по сравнению с парогазовой средой нефтяного резервуара, но и более высокой температурой, что обусловлено

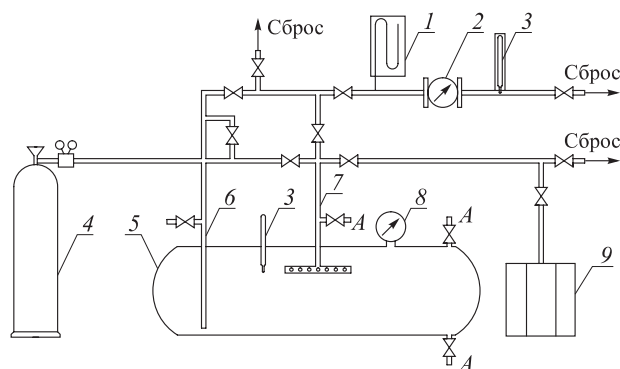


Рис. 1. Схема модельной установки: 1 — ртутный дифманометр; 2 — газовый счетчик; 3 — термометр; 4 — баллон для азота; 5 — модельный резервуар; 6 — сливноналивная труба; 7 — труба наддува; 8 — мановакуумметр; 9 — вакуумный насос; А — место отбора пробы

спецификой процесса мембранного воздухоразделения.

В работе [7] приводятся результаты экспериментальной оценки эффективности проведения флегматизации способом повышения и сброса давления, а также способом продувки резервуара инертным газом (азотом). Схема модельной установки приведена на рис. 1.

Испытания методом повышения и сброса давления азота проводили как с интервалом (промежутком между указанными операциями, соответствующим времени выравнивания концентраций), так и без выдержки во времени. В зону, максимально удаленную от сливноналивной трубы, азот подавали через трубу наддува, в среднюю часть сосуда — через перфорированное устройство, а газовую смесь отводили через сливноналивную трубу, трубу наддува или перфорированное устройство. Пробы газа для последующего хроматографического анализа отбирали из зон, наиболее удаленных от мест подачи инертного газа.

Автор [7] пришел к следующим основным выводам:

- способы наддува-сброса с выдержкой и без выдержки во времени между циклами сопоставимы по величине требуемого количества азота;
- способ обычной продувки с точки зрения требуемого количества азота является оптимальным;
- направление подачи азота не оказывает особого влияния на величину остаточной концентрации кислорода;
- газообразный азот наиболее целесообразно подавать сверху вниз.

На основании проведенных ранее исследований процесса флегматизации нефтяных резервуаров [6], в том числе горизонтальных [8], возникли сомнения относительно справедливости двух последних утверждений в случае использования азота мембранного разделения. Возникло предположение о

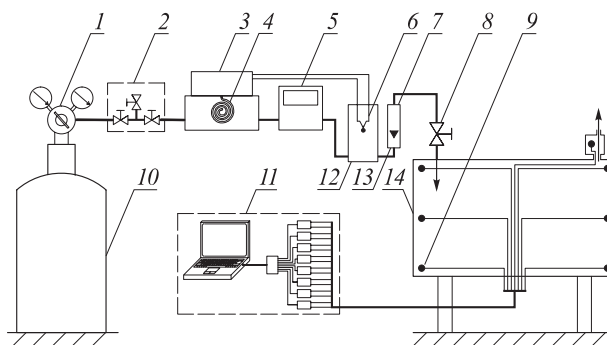


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: 1 — газодуктор; 2 — блок вентилялей; 3 — блок регулирования температуры нагревательного элемента; 4 — нагревательный элемент; 5 — прибор измерения объема инертного газа; 6 — термопара; 7 — ротаметр; 8 — клапан; 9 — прибор измерения концентрации кислорода; 10 — баллон со сжатым азотом; 11 — измерительный комплекс; 12 — контрольная емкость; 13 — термопара; 14 — экспериментальный резервуар

существовании более сложной зависимости между схемой продувки и временем достижения безопасной концентрации кислорода во всем объеме резервуара, что обусловлено соотношением ряда факторов:

- взаимного расположения входного и выходного отверстий в резервуаре;
- начальной скорости, расхода и направления потока инертного газа;
- соотношения физических свойств подаваемого инертного газа и замещаемой среды.

Для исследования процесса флегматизации горизонтальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов был разработан экспериментальный стенд, схема которого представлена на рис. 2.

Азот мембранного разделения, используемый для флегматизации, обладает следующими основными физическими свойствами:

- получаемый инертный газ имеет температуру на 10–15 °С выше температуры воздуха, поступающего в воздухоразделительные мембраны;
- производимая мембранной установкой инертная среда имеет остаточное количество кислорода, которое зависит от производительности установки (фактически около 1–5 %).

Ввиду отсутствия возможности использования мембранного модуля в лабораторных условиях было принято решение о применении газообразного азота, который перед подачей в резервуар проходил предварительный подогрев до температуры 30 °С, что соответствует свойствам азота мембранного разделения. Остаточное количество кислорода в данном случае моделировать не требуется, поскольку состав подаваемого инертного газа может быть учтен при математическом моделировании процесса [6].

При разработке экспериментального стенда был использован метод приближенного моделирования,

который, в свою очередь, базируется на теории подобия [9–12], а также опыт проведения исследований процессов вентилирования и флегматизации резервуаров для нефти и нефтепродуктов [13–15]. Основными условиями приближенного моделирования процессов вентилирования и флегматизации можно считать геометрическое подобие экспериментальных резервуаров реальным объектам, равенство чисел подобия, а также турбулентный режим подачи инертного газа ($Re_{ср} > 2300$). Основным критерием подобия при условии отсутствия жидкого нефтепродукта было принято число Фруда (Fr), подтвердившее свою достоверность при исследовании процесса флегматизации объема вертикальных резервуаров [6]:

$$Fr = gl/u^2 = idem, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения, $м/с^2$;
 l — характерный размер, $м$;
 u — скорость потока газа, $м/с$.

Из равенства чисел Фруда в модели и натуре следует:

$$\frac{u_m}{u_n} = \sqrt{\frac{l_m}{l_n}} = \sqrt{n}, \quad (2)$$

где m и n — индексы, обозначающие соответственно модель и натуральный объект;
 n — коэффициент подобия.

Геометрическое подобие предполагает соотношение

$$\frac{l_m}{l_n} = \left(\frac{f_m}{f_n} \right)^{1/2} = \left(\frac{F_m}{F_n} \right)^{1/2} = \left(\frac{V_m}{V_n} \right)^{1/3} = n, \quad (3)$$

где f_n — площадь приточного отверстия патрубка, $м^2$;
 F_n — площадь испарения, $м^2$;
 V — объем резервуара, $м^3$.

Расположение приборов контроля концентраций кислорода в объеме защищаемой емкости, схематично представленное на рис. 3, было выбрано исходя из следующих предпосылок:

- проведенное ранее экспериментальное исследование процесса флегматизации на модели меньшего объема [8] позволило выявить области с наибольшими концентрациями кислорода в процессе флегматизации;
- принятое ранее допущение для процесса флегматизации о “мгновенном” и “равномерном” распределении подаваемого инертного газа может быть подтверждено или опровергнуто только на основании сравнения концентраций в различных областях, за исключением основного участка струи;
- принятое исследователями допущение [13, 14] о том, что концентрации компонентов удаляемой парогазовой среды равны среднеобъемным внутри

резервуара при флегматизации азотом мембранного разделения вертикальных резервуаров не подтвердилось [6], поэтому среднеобъемную концентрацию кислорода следует определять с учетом соотношения процессов подачи инертного газа с неизменным составом (в данном случае 100 % азота) и удаления парогазовой среды с непрерывно уменьшающимся содержанием кислорода.

Для выявления наиболее рациональной схемы подачи флегматизатора была проведена серия экспериментов по определению времени достижения безопасной концентрации кислорода во всем объеме защищаемого резервуара. Кратность продувки (отношение расхода инертного газа к объему резервуара) была одинаковой для всех опытов и составляла приблизительно $0,9 \text{ ч}^{-1}$. Схемы продувки представлены на рис. 4.

В схемах 2–6 (см. рис. 4) применялся насадок, формирующий горизонтальное направление потока инертного газа вдоль оси симметрии резервуара. В схемах 4–6 был дополнительно установлен патрубок для удаления парогазовой среды из нижней части резервуара. В результате экспериментальной

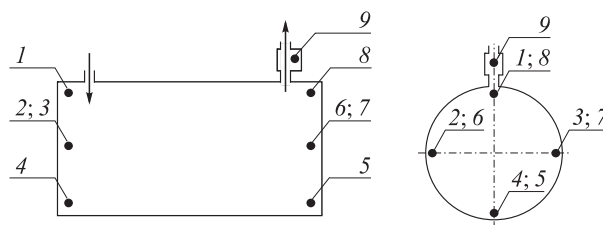


Рис. 3. Схема размещения датчиков измерения концентрации кислорода в экспериментальном резервуаре: 1–9 — базовые точки для размещения датчиков измерения концентрации кислорода; → — направление подачи инертного газа и выхода газовой смеси

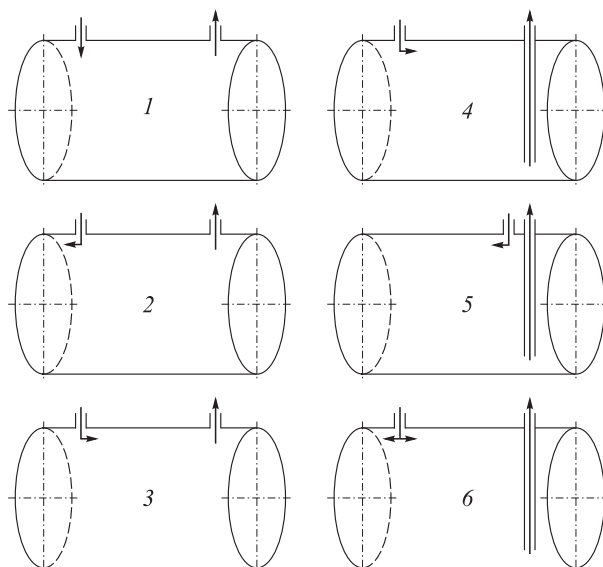


Рис. 4. Схемы продувки горизонтального резервуара

части исследования для каждой из схем были получены значения концентраций кислорода с интервалом 0,7 с в восьми точках внутри резервуара, а также на выходе из него.

Определение среднеобъемной концентрации путем вычисления среднего арифметического из полученных экспериментальных данных в различных точках для каждого момента времени возможно только при равномерном размещении большого количества датчиков в объеме резервуара, что повлекло бы за собой не только существенные технические трудности, но и значительную погрешность, вызванную обтеканием подаваемой инертной средой многочисленных измерительных приборов и соединительных проводов. В связи с этим среднеобъемная концентрация кислорода для i -го момента времени определялась исходя из его материального баланса в резервуаре в процессе флегматизации по формуле

$$\begin{aligned} \varphi_{ср i}^k &= \frac{V_i}{V_p} = \frac{V_i^k - q\varphi_{i-1}^k \Delta\tau}{V_p} = \\ &= \frac{V_p \varphi_{i-1}^k - q\varphi_{i-1}^k \Delta\tau}{V_p} = \varphi_{i-1}^k \left(1 - \frac{q\Delta\tau}{V_p}\right), \end{aligned} \quad (4)$$

где $i, i-1$ — индексы, обозначающие принадлежность параметра соответственно к текущему и предшествующему моментам времени;
 $\varphi_{ср i}^k$ — среднеобъемная концентрация кислорода в резервуаре, об. доли;
 φ^k — концентрация кислорода, определенная экспериментальным путем, об. доли;
 V^k — объем кислорода в резервуаре, м³;
 V_p — объем резервуара, м³;
 q — расход подаваемого инертного газа, м³/с;
 $\Delta\tau$ — временной интервал между измерениями концентрации, составляющий 0,7 с.

Для сравнительного анализа полученных результатов была использована математическая модель [13], описывающая динамику среднеобъемных концентраций кислорода, основанная на аналитическом решении дифференциального уравнения материального баланса и предполагающая “мгновенное” и “равномерное” перемешивание подаваемого инертного газа. Время флегматизации в этом случае рассчитывается по формуле

$$\tau_\phi = \frac{V_p}{q} \ln \frac{\varphi_0^k}{\varphi_{без}^k}, \quad (5)$$

где τ_ϕ — время флегматизации резервуара, с;
 φ_0^k — начальная среднеобъемная концентрация кислорода в резервуаре, об. доли;
 $\varphi_{без}^k$ — безопасная концентрация кислорода, об. доли.

Отношение времени флегматизации, определенного по среднеобъемной концентрации с использо-

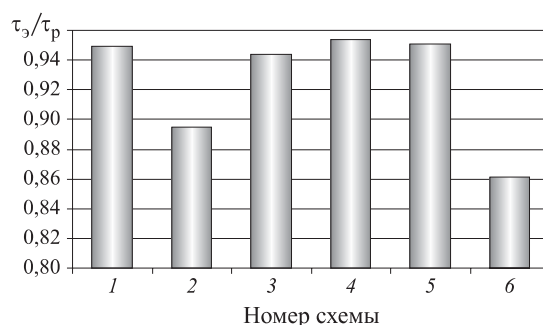


Рис. 5. Относительное время τ_3/τ_p флегматизации по среднеобъемным концентрациям для различных схем продувки резервуара

ванием выражения (1) и экспериментальным данным, к времени, рассчитанному по формуле (2), представлено в виде диаграммы (рис. 5).

Анализ данных рис. 5 позволяет сделать следующие основные выводы:

- для схем 2 и 3 направление подачи не повлияло на концентрацию кислорода на выходе из резервуара и, соответственно, на время достижения безопасной среднеобъемной концентрации кислорода;
- наиболее рациональной представляется схема 6, однако окончательный вывод можно сделать только после анализа данных по достижению безопасной концентрации во всем объеме резервуара;
- экспериментальное время достижения безопасной среднеобъемной концентрации кислорода составляет менее расчетного, что опровергает допущение о “мгновенном” и “равномерном” перемешивании подаваемого инертного газа.

Последнее утверждение наиболее отчетливо демонстрируется при нахождении отношения концентраций кислорода в различных точках к среднеобъем-

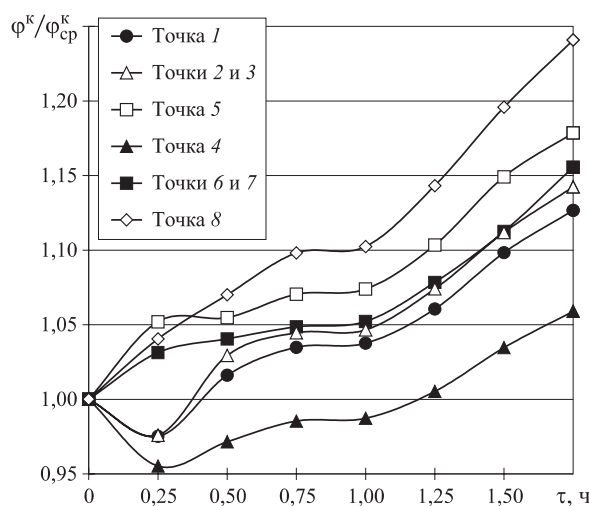


Рис. 6. Отношение концентраций кислорода в различных точках резервуара к среднеобъемной для схемы 1

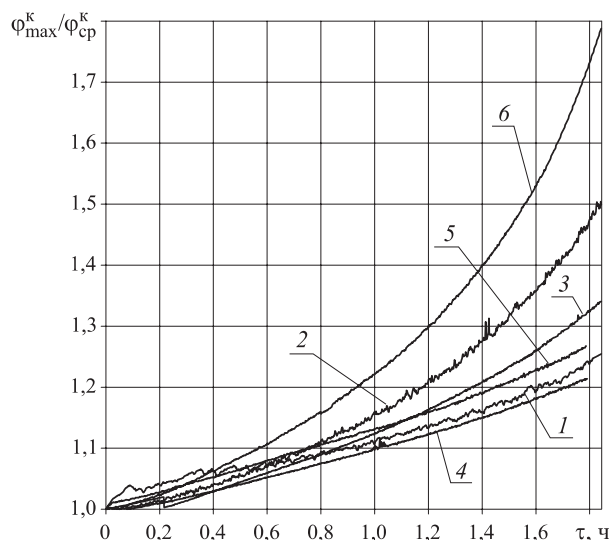


Рис. 7. Отношение максимальных и среднеобъемных концентраций кислорода в процессе флегматизации для различных схем продувки: 1–6 — данные, полученные для соответствующих схем продувки, указанных на рис. 4

емной, определенной по формуле (1), для различных моментов времени (рис. 6).

Если бы парогазовая среда распределялась равномерно, то приведенные на рис. 6 графики должны были иметь вид горизонтальных прямых, т. е. $\phi_{ср}^i / \phi_{ср}^к = 1$. Наличие же неравномерности распределения парогазовой среды влияет не только на динамику среднеобъемной концентрации кислорода, но и на общую продолжительность флегматизации. Отобразим отношение максимальной концентрации кислорода в процессе флегматизации, полученной экспериментальным путем, к среднеобъемной, рассчитанной по формуле (1) (рис. 7).

Результаты, приведенные на рис. 7, свидетельствуют о том, что наименьшее отклонение максимальной концентрации кислорода от среднеобъемной наблюдается при продувке резервуара азотом по схеме 4, наибольшее — по схеме 6. На первый взгляд, экспериментальные данные для схемы 6, приведенные на рис. 5 и 7, противоречат друг другу.

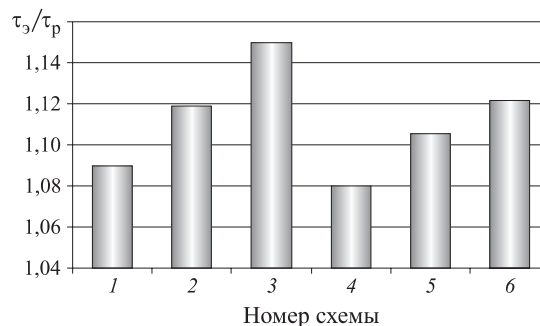


Рис. 8. Относительное время флегматизации в зависимости от схемы подачи

В действительности, для данного способа подачи инертного газа и вытеснения газовой среды характерна наибольшая неравномерность распределения концентраций по сравнению с другими схемами продувки.

Отношение фактического времени флегматизации всего объема резервуара до безопасной концентрации кислорода к расчетному времени, определяемому по формуле (1), в зависимости от схемы продувки представлено на рис. 8.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что флегматизация азотом мембранного разделения объема резервуара наиболее эффективно реализуется по схемам 1 и 4, что частично совпадает с выводом автора [7] о направлении подачи азота. Диаграмма, представленная на рис. 8, позволяет также судить о соотношении требуемого для флегматизации количества инертного газа и паров нефтепродуктов, что является немаловажным фактором при выборе производительности мембранных воздухоразделительных модулей. Наиболее простым с точки зрения реализации на действующих резервуарах способом является продувка по схеме 1, поскольку в этом случае не требуется внесения существенных изменений в их конструкцию. В свою очередь, указанные изменения не будут препятствовать нормальной эксплуатации резервуара после окончания ремонтных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баратов А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. — 264 с.
2. Алексеев М. В., Волков О. М., Шатров Н. Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств : учебник. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1986. — 370 с.
3. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. — М. : Недра, 1984. — 151 с.
4. Назаров В. П., Корнилов А. А. Аналитическое исследование эффективности флегматизации при обеспечении пожаровзрывобезопасности емкостного оборудования // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 4. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-4/2010-4.html> (дата обращения: 10.01.2014 г.).
5. Корнилов А. А. Экспериментальное исследование неравномерности распределения азота в процессе флегматизации резервуаров для нефтепродуктов // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 1. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1/2012-1.html> (дата обращения: 10.01.2014 г.).

6. Корнилов А. А. Повышение безопасности аварийно-ремонтных работ на нефтяных резервуарах способом флегматизации азотом мембранного разделения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 23 с.
7. Ильинский А. А., Коваленко В. П., Мерзлова Т. С. Методы освобождения горизонтальных резервуаров от кислорода воздуха // Сб. : Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1975. — № 2. — С. 24–26.
8. Бородин А. А. Экспериментальное исследование процесса флегматизации горизонтального резервуара для нефтепродуктов // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 6. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-6/2012-6.html> (дата обращения: 10.01.2014 г.).
9. Кирпичев М. В. Теория подобия. — М. : АН СССР, 1953. — 162 с.
10. Гухман А. А. Физические основы теплопередачи. — М. : Энергоиздат, 1934. — 315 с.
11. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. — М. : Химия, 1980. — 284 с.
12. Батулин В. В. Основы промышленной вентиляции. — М. : Профиздат, 1990. — 448 с.
13. Булгаков В. В. Обеспечение пожаровзрывобезопасности огневых аварийно-ремонтных работ на резервуарах способом флегматизации : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2001. — 220 с.
14. Назаров В. П. Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1980. — 250 с.
15. Сорокоумов В. П. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2002. — 160 с.

Материал поступил в редакцию 30 января 2014 г.

English

EXAMINATION OF THE OPTIMUM SCHEME OF SUPPLY OF INERT GAS AT PHLEGMATIZATION OF HORIZONTAL TANKS

KORNILOV A. A., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Fire Automatics Department, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: kornilov_alexei1@mail.ru)

BORODIN A. A., Lecturer of Fire Automatics Department, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemical Sciences, Head of Chemistry Department of Ural State Agrarian University (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation); Senior Researcher of Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

ZYKOV P. I., Senior Lecturer of Fire Safety Processes Department, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

KHUZHAEV A. T., Cadet, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ABSTRACT

Phlegmatization by inert gases, including nitrogen of membrane division belongs to number of perspective ways of ensuring fire safety of processes of preparation and carrying out repair work on tanks for oil and oil products. As the specified way assumes essential capital investments, one of topical issues of its application is optimization of a consumption of inert gas. As a large number of factors can have impact on amount of inert gas demanded for phlegmatization at a purge (the location of an entrance and exhaust outlet, the direction of supply of inert gas, etc.), detection of the most optimum scheme of a purge of the horizontal tank was the purpose of this work.

Keywords: phlegmatization; inert gas; nitrogen; tank; petroleum products.

REFERENCES

1. Baratov A. N. *Goreniye – Pozhar – Vzryv – Bezopasnost* [Burning – Fire – Explosion – Safety]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2003. 264 p.

2. Alekseev M. V., Volkov O. M., Shatrov N. F. *Pozharnaya profilaktika tekhnologicheskikh protsessov proizvodstv: uchebnik* [Fire prevention of technological processes of productions. Textbook]. Moscow, The Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1986. 370 p.
3. Volkov O. M. *Pozharnaya bezopasnost rezervuarov s nefteproduktami* [Fire safety of tanks with oil products]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 151 p.
4. Nazarov V. P., Kornilov A. A. Analiticheskoye issledovaniye effektivnosti flegmatizatsii pri obespechenii pozharovzryvobezopasnosti yemkostnogo oborudovaniya [Analytical research of efficiency of phlegmatization when ensuring fire and explosion safety of the capacitor equipment]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Production Engineering of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2010, no. 4. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-4/2010-4.html> (Accessed 10.01.2014).
5. Kornilov A. A. Eksperimentalnoye issledovaniye neravnomernosti raspredeleniya azota v protsesse flegmatizatsii rezervuarov dlya nefteproduktov [Experimental research of process phlegmatization tanks for mineral oil obtained by membrane separation of air nitrogen]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Production Engineering of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2012, no. 1. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-1/2012-1.html> (Accessed 10.01.2014).
6. Kornilov A. A. *Povysheniye bezopasnosti avariyno-remontnykh rabot na neftyanykh rezervuarakh sposobom flegmatizatsii azotom membrannogo razdeleniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase of safety of emergency repair work on oil tanks in the way of phlegmatization by nitrogen of membrane division. Abstracts of cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 23 p.
7. Ilyinskiy A. A., Kovalenko V. P., Merzlova T. S. Metody osvobozhdeniya gorizontalnykh rezervuarov ot kisloroda vozdukh [Method of release of horizontal tanks from air oxygen]. *Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* [Transport and storage of oil products and hydrocarbonic raw materials]. Moscow, TsNIITeneftchim, 1975, no. 2, pp. 24–26.
8. Borodin A. A. Eksperimentalnoye issledovaniye protsessa flegmatizatsii gorizontalnogo rezervuara dlya nefteproduktov [Pilot study of process of phlegmatization of the horizontal tank for oil products]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Production Engineering of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2012, no. 6. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-6/2012-6.html> (Accessed 10.01.2014).
9. Kirpichev M. V. *Teoriya podobiya* [Similarity theory]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1953. 162 p.
10. Gukhman A. A. *Fizicheskiye osnovy teploperedachi* [Physical bases of a heat transfer]. Moscow, Energoizdat, 1934. 315 p.
11. Elterman V. M. *Ventilyatsiya khimicheskikh proizvodstv* [Physical bases of a heat transfer]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 284 p.
12. Baturin V. V. *Osnovy promyshlennoy ventilyatsii* [Bases of industrial ventilation]. Moscow, Profizdat, 1990. 448 p.
13. Bulgakov V. V. *Obespecheniye pozharovzryvobezopasnosti ognevykh avariyno-remontnykh rabot na rezervuarakh sposobom flegmatizatsii: dis. kand. tekhn. nauk* [Ensuring fire and explosion safety of fire emergency repair work on tanks in the way of phlegmatization. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2001. 220 p.
14. Nazarov V. P. *Ochistka rezervuarov ot ostatkov svetlykh nefteproduktov pered provedeniyem ognevykh remontnykh rabot: dis. kand. tekhn. nauk* [Cleaning of tanks of the remains of light oil products before carrying out fire repair work. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1980. 250 p.
15. Sorokoumov V. P. *Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti rezervuarov s lokalnymi ostatkami nefteproduktov pri provedenii avariyno-remontnykh rabot: dis. kand. tekhn. nauk* [Ensuring fire safety of tanks with the local remains of oil products when carrying out emergency repair work. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2002. 160 p.

**ВОПРОС:**

В интернете появилась информация о выходе нового свода правил “Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности”. Этот свод правил полностью заменит действующие нормы пожарной безопасности НПБ 111–98*? Какие изменения будут внесены в СП касательно электроустановок, применяемых на автозаправочных станциях?

ОТВЕТ:

Приказом МЧС России № 221 от 5 мая 2014 г. утвержден свод правил “Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности” (далее — СП), который будет введен в действие с 1 июля 2014 г.

Введение СП позволит обеспечить соблюдение требований пожарной безопасности, установленных Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”, на различных видах автозаправочных станций (АЗС).

СП не отменяет действие НПБ 111–98* [1]: СП распространяется на вновь строящиеся АЗС, а также на действующие АЗС при проведении их реконструкции, а НПБ [1] — на все остальные АЗС.

В новом СП добавятся требования пожарной безопасности для криогенных и передвижных криогенных автозаправочных станций (КриоАЗС)¹. Будут также расширены дополнительные требования пожарной безопасности по каждому виду АЗС. В СП будут внесены новые термины, такие как “граница АЗС”, “островок безопасности”, “площадка подпора”, “технологически связанные с АЗС производственные объекты” и др.

Требования пожарной безопасности к электроустановкам АЗС также претерпят изменения. В первую очередь в общие требования будет добавлена статья, в которой указано, что кабельные линии и электропроводка, подключаемые к устройствам, отвечающим за перекрытие поступления топлива, сброс избыточного давления, отключение оборудования в случае пожара, должны сохранять работоспособность в условиях пожара в течение времени, необходимого для выполнения указанных выше технологических операций. Указанное время достигается путем выбора вида электропроводки в соответствующем исполнении согласно действующим ГОСТам [2, 3].

¹ КриоАЗС — АЗС, технологическая система которой предназначена только для заправки баллонов топливной системы транспортных средств сжиженным природным газом (СПГ), получаемым на территории станции путем регазификации сжиженного природного газа (СПГ), т. е. процесса преобразования СПГ из жидкого состояния в газообразное.

Кроме того, важное изменение коснется применения на АЗС устройств заземления автоцистерн (УЗА). В НПБ [1] применение УЗА носило рекомендательный характер, а в новом СП — обязательный: “для контроля заземления автоцистерн **следует применять** специализированные автоматизированные устройства заземления, осуществляющие автоматическое прекращение наполнения резервуара или сигнализацию при неисправности системы заземления автоцистерн”².

Появлением в СП нового термина “технологически связанные с АЗС производственные объекты” (т. е. “объекты, предназначенные для производства и/или хранения моторного топлива, поставляемого на АЗС по трубопроводам, и характеризующиеся общими с АЗС системами предотвращения пожара и противопожарной защиты”) обусловлено изменение требования, касающегося мест подачи сигнала о пожаре при срабатывании пожарной сигнализации. Согласно СП при срабатывании пожарной сигнализации должна быть обеспечена в автоматическом режиме подача сигнала о пожаре не только в помещение операторной АЗС, но и в помещение операторной объекта, технологически связанного с этой АЗС, при его наличии. Следовательно, появится необходимость подключать операторную технологически связанного с АЗС объекта к системе пожарной сигнализации самой АЗС, что должно повысить оперативность реагирования таких объектов на ЧС и принятия ими необходимых действий по предотвращению ЧС в более короткие сроки.

В остальных требованиях СП к электроустановкам АЗС по сравнению с НПБ [1] останутся без изменений.

² Обязательность применения УЗА в других нормативных документах рассмотрена в рубрике “Вопрос–Ответ” журнала № 10 за 2013 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПБ 111–98*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.05.1998 г. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 1998.
2. ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.01.2014 г. — М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ Р 53316–2009. Кабельные линии. Сохранение работоспособности в условиях пожара. Метод испытания. — Введ. 01.07.2010 г. — М.: Стандартинформ, 2010.

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными, в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме 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 в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Prospekt Vernadskogo, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

- содержательным (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

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

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

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

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

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

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

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

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

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh tekhnicheskikh sistem”* [Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniye gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

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

ГОСТы:

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>, а также программные средства для их формирования.

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

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

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 за публикацию работ с аспирантов не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

АКЦИЯ



УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Предлагаем Вам приобрести наши журналы за прошлые годы. Цена одного номера — 100 рублей без стоимости пересылки.

Журнал
“ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ”:

- 2009 год
№ 1, 3, 4, 7–9;
- 2010 год
№ 1, 2, 4, 5, 9–12;
- 2011 год
№ 1, 10, 11;
- 2012 год
№ 2, 5–7, 9–12;
- 2013 год
№ 1–12.

Журнал
“ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ”:

- 2009 год
апрель, декабрь;
- 2010 год
февраль, апрель, июнь, август,
октябрь, декабрь;
- 2011 год
июнь, август, октябрь.

Адрес издательства:
121108, г. Москва,
ул. Ивана Франко,
д. 4, корп. 10.
Телефон:
+7 (495) 228-09-03

**Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку
на журнал “Пожаровзрывобезопасность”
на 1-е (2-е) полугодие 2014 г.**

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2014

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2014 г.)	4950		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2014 г.)	5200		

- ☐ 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”



Sfitex

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ufi
Approved
Event

11–13 НОЯБРЯ 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА



РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

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

Организаторы:



primexpo



ITE

ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД!

+7 (812) 380 6009/00

security@primexpo.ru

www.sfitex.ru