

7-8' 2018

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОЖАРНОЙ
ОПАСНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



**ТЕХНОЛОГИИ
БЕЗОПАСНОСТИ**

ОХРАНА

СВЯЗЬ

23-24 ОКТЯБРЯ²⁰¹⁸ **“ВЯТСКАЯ ФИЛАРМОНИЯ”**
(г. Киров, Ленина, 1026)

Раздел выставки «Технологии безопасности»:

- безопасность промышленных объектов;
- пожарная безопасность;
- безопасность дорожного движения;
- интеллектуальные транспортные системы;
- экологическая безопасность, информационная безопасность;
- личная безопасность;
- медицинская безопасность.

Раздел выставки «Связь»:

- интернет и безопасность, продвижения в интернете;
- телекоммуникации, IT-решения, программное обеспечение;
- мобильная связь, IT-услуги, центры обработки и хранения данных;
- банковские платежные системы, мобильные платежи;
- цифровые технологии и оборудование, облачные технологии, стартапы;
- навигационные системы;
- телевизионное и радиовещание, работа в телевизионной и IT отрасли.

Раздел выставки «Охрана»:

- спецодежда, спецобувь, средства индивидуальной защиты.

Для посетителей предусмотрены:

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| ● СЕМИНАРЫ | ● ПРЕЗЕНТАЦИИ |
| ● ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ | ● МАСТЕР – КЛАССЫ |

РЕКЛАМА

Посещение форума позволит познакомиться с современными разработками и приобрести полезные деловые связи, за короткое время получить информацию о широком выборе систем и услуг безопасности во всех сферах.



**ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ
“ВЯТСКИЙ БАЗАР”**

☎ (8332)58-30-60, 74-60-30
E-mail: vbazar-k@mail.ru
expo43.ru

№ 7-8 ^{ТОМ 27} 2018

УЧРЕДИТЕЛЬ —
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

СМИ зарегистрировано Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массо-
вых коммуникаций — свидетельство ПИ
№ ФС 77-43615 от 18 января 2011 г.

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией **Корольченко О. Н.**
Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**
Редактор **Крылова Л. В.**

Адрес редакции:

121596, Россия, г. Москва,
ул. Горбунова, д. 2, стр. 3, пом. II, комн. 12

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 6.

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

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

Журнал включен в перечень ведущих рецензи-
руемых научных журналов и изданий, реко-
мендованных ВАК России для публикации
трудов соискателей ученых степеней, в Рефе-
ративный журнал и базы данных ВИНТИ РАН,
в базу данных Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian
Science Citation Index на платформе Web
of Science, в справочно-библиографическую
службу EBSCO. Сведения о журнале ежегодно
публикуются в Международной справочной
системе по периодическим и продолжающимся
изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Переводные версии статей журнала входят
в Международный реферативный журнал
"Chemical Abstracts".

Перепечатка материалов журнала "Пожаро-
взрывобезопасность / Fire and Explosion Safety"
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 мне-
нием авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 15.08.2018.

Выход в свет 27.08.2018.

Формат 60х84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "Гран При"
(Россия, 152900, г. Рыбинск,
ул. Орджоникидзе, д. 57).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Национальный иссле-
довательский Московский государственный строительный университет, Москва,
Россия)

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Велико-
британия)

Стрижак П. А., д. ф.-м. н. (Национальный исследовательский Томский политехни-
ческий университет, Томск, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бакиров И. К., к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический уни-
верситет, Уфа, Россия, Республика Башкортостан)

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Уральский государственный аграрный универ-
ситет, Екатеринбург, Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН, заслуженный деятель
науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Бурханов А. И., д. ф.-м. н. (Волгоградский государственный технический уни-
верситет, Волгоград, Россия)

Вагнер П., д. т. н. (Академия пожарной службы Берлина, Берлин, Германия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет, Москва, Россия)

Кузнецов С. В., д. ф.-м. н., профессор (Институт проблем механики им. А. Ю. Иш-
линского Российской академии наук, Москва, Россия)

Ложкин В. Н., д. т. н., профессор (Санкт-Петербургский университет Государ-
ственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург, Россия)

Малыгин И. Г., д. т. н., профессор (Институт проблем транспорта им. Н.С. Соло-
менко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

Поландов Ю. Х., д. т. н., профессор (Орловский государственный университет
им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ, заслуженный деятель
науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Раимбеков К. Ж., к. ф.-м. н. (Кокшетауский технический институт Комитета по
чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан)

Рестас А. (Институт управления при ЧС Национального университета Государ-
ственной службы, Будапешт, Венгрия)

Роу Р. Л., профессор (Школа права Университета Джорджауна, Вашингтон, США)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Академия Госу-
дарственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия)

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член ВАНКБ (Национальный
исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ, заслуженный
деятель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС
России, Москва, Россия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, академик
ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия)

Христов Б., д. т. н., профессор (Берлинский институт техники и экономики, Берлин,
Германия)

Челани А. (Миланский технический университет, Милан, Италия)

Чирик Р. М., д. т. н., профессор (Высшая техническая школа, Нови Сад, Сербия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (ВНИИПО МЧС
России, Балашиха, Россия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Великобритания)

Шоус Р. (Университет штата Пенсильвания, Юниверсити-Парк, Пенсильвания,
США)

Якуш С. Е., д. ф.-м. н. (Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Рос-
сийской академии наук, Москва, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

ТОП-5 будущих технологий безопасности

6

TOP-5 future safety technologies

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

ПОЛАНДОВ Ю. Х., КОРОЛЬЧЕНКО А. Д.
Об условиях развития вибрационного горения
при газовом взрыве в незамкнутом объеме

9

POLANDOV Yu. Kh., KOROLCHENKO A. D.
On conditions enabling resonant combustion
in gas explosion in non-enclosed volume

ПУЗАЧ С. В., СИТНИКОВ И. В., ЛЕБЕДЧЕНКО О. С.,
КОМРАКОВ П. В., ДО ТХАНЬ ТУНГ
Влияние неоднородного распределения температур
по высоте помещения на высоту плоскости
равных давлений при пожаре

24

PUZACH S. V., SITNIKOV I. V., LEBEDCHENKO O. S.,
KOMRAKOV P. V., DO THANH TUNG
Influence of heterogeneous temperature distribution
along the premise height on the height of a plane
of equal pressures during fire

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

КОНСТАНТИНОВА Н. И.,
СМИРНОВ Н. В., ШЕБЕКО А. Ю.
К вопросу об оценке эффективности
огнезащиты полимерных материалов

32

KONSTANTINOVA N. I.,
SMIRNOV N. V., SHEBEKO A. Yu.
Revisiting the assessment of polymeric materials
fire protection efficiency

КОРОЛЕВА Л. А., ХАЙДАРОВ А. Г.,
ИВАХНЮК Г. К., КОВАЛЬ Д. Н.
Эксергетический подход к оценке
энергоэкологической эффективности
и пожарной опасности грузовых перевозок
на железнодорожном транспорте

43

KOROLEVA L. A., KHAYDAROV A. G.,
IVAKHNYUK G. K., KOVAL D. N.
Exergistic approach to estimation of
energy-ecological efficiency and fire hazard
of cargo transportation on railway
transport

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., КРЮЧКОВ А. В.,
МИХАЙЛОВ К. А., НГУЕН ТУАН АНЬ
Модель оценки влияния человека
на устойчивость специального программного
обеспечения автоматизированных систем
пожаровзрывобезопасности

53

TOPOLSKIY N. G., KRYUCHKOV A. V.,
MIKHAYLOV K. A., NGUYEN TUAN ANH
Model for assessing the human influence
on the sustainability of the special software
of the computer-aided fire-explosion
safety systems

БУТУЗОВ С. Ю., КРЮЧКОВ А. В., САМАРИН И. В.
Метод количественного расчета совокупного фактора
влияния персонала на устойчивость специального
программного обеспечения автоматизированных
систем пожаровзрывобезопасности

60

BUTUZOV S. Yu., KRYUCHKOV A. V., SAMARIN I. V.
Method of quantitative calculation of
the total factor impact of personnel stability
special software of the automated systems
of fire and explosion

ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., КРЮЧКОВ А. В.,
ГРАЧЕВ Д. С., МИХАЙЛОВ К. А.
Определение состава программ в специальном
программном обеспечении автоматизированных
систем пожаровзрывобезопасности объектов

67

TOPOLSKIY N. G., KRYUCHKOV A. V.,
GRACHEV D. S., MIKHAYLOV K. A.
Determination of the composition of programs
in a special software of the computer-aided
fire-explosion safety systems of objects

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

LIFE SAFETY

СЁМИН А. А., ФОМИН А. М., ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.
Проблема организации безопасной эвакуации
пациентов лечебных учреждений при пожаре

74

SEMIN A. A., FOMIN A. M., KHOLSHCHEVNIKOV V. V.
Problem of organization of safe evacuation
of healthcare institution patients in case of fire

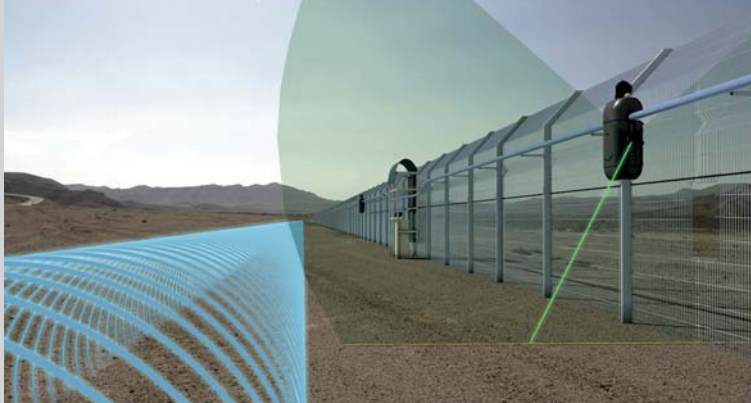
ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.
Требования пожарной безопасности
к культовым сооружениям

89

KHARLAMENKOV A. S.
Fire safety requirements for religious
buildings



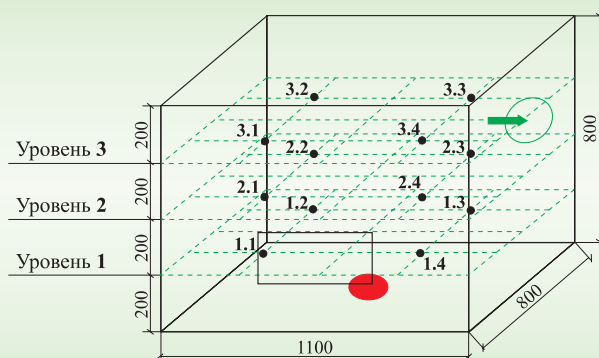
ТОП-5 будущих технологий безопасности

Стр. 6



Вибрационное горение при газовом взрыве в незамкнутом объеме

Стр. 9



Неоднородность распределения температур по высоте помещения

Стр. 24



Оценка эффективности огнезащиты полимерных материалов

Стр. 32

Стр. 74



Безопасная эвакуация пациентов лечебных учреждений при пожаре

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



FOUNDER —

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Journal founded in 1992,
issued 12 times per year.

Publication is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology, and Mass Media
of Russia. Registration certificate
PI No. FS 77-43615 on January 18, 2011.

EDITORIAL STAFF:

Chief of Editorial Staff **Korolchenko O. N.**

Editorial Director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, Russia.

Corresponding to: Post office box 6,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

"Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion
Safety" is included in the List of periodical
scientific and technical publication, recommended
by Higher Attestation Commission of the Russian
Federation for publishing aspirants' works for
candidate and doctoral degree, in Abstracting
Journal and Database of VINITI RAS, in Russian
Science Citation Index, EBSCO. Information
about the journal is annually published
in "Ulrich's Periodicals Directory". English version
of "Fire and Explosion Safety" articles is included
in Chemical Abstract Service (CAS).

No part of this publication may be used or re-
produced in any form or by any means without
the prior permission of the Publishers. Repro-
ducing 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 15.08.2018.
Date of publication 27.08.2018.
Format is 60x84 1/8.
Printing is 2000 copies.
Chalk-overlay mat paper.
Offset printing.

Printed at "Gran Pri", Ltd.
(Ordzhonikidze St., 57, Rybinsk,
152900, Russian Federation)

EDITOR-IN-CHIEF:

Korolchenko A. Ya., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of International Academy of
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Molkov V. V., Dr. Tech. Sci., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

Strizhak P. A., Dr. Phys.-Math. Sci. (National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia)

EDITORIAL BOARD:

Bakirov I. K., Cand. Tech. Sci. (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia,
Republic of Bashkortostan)

Barbin N. M., Dr. Tech. Sci., Professor (Urals State Agrarian University, Yekaterinburg,
Russia)

Brushlinskiy N. N., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Natural
Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of
Russia, Moscow, Russia)

Burkhanov A. I., Dr. Phys.-Math. Sci. (Volgograd State Technical University, Volgograd,
Russia)

Wagner P., Dr. Tech. Sci. (Berlin Fire and Rescue Academy, Berlin, Germany)

Korolchenko D. A., Cand. Tech. Sci., Academician of International Academy of Ecology
and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow,
Russia)

Kuznetsov S. V., Dr. Phys.-Math. Sci., Professor (A. Ishlinsky Institute for Problems in
Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Lozhkin V. N., Dr. Tech. Sci., Professor (Saint Petersburg University of State Fire Service of
Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russia)

Malygin I. G., Dr. Tech. Sci., Professor (Solomenko Institute of Transport Problems of
the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia)

Polandov Yu. Kh., Dr. Tech. Sci., Professor (Orel State University named after I. Turgenev,
Orel, Russia)

Puzach S. V., Dr. Tech. Sci., Professor, Corresponding Member of National Academy of
Fire Science (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Raimbekov K. Zh., Cand. Phys.-Math. Sci. (Kokshetau Technical Institute, Committee of
Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan)

Restas A., Ph. D. (National University of Public Service, Institute of Disaster Manage-
ment, Budapest, Hungary)

Roe R. L., Professor (Georgetown University Law Center, Washington, United States)

Serkov B. B., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire Science
(State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Tamrazyan A. G., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of World Academy of Sciences for
Complex Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

Topolskiy N. G., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Natural
Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of
the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

Kholshchevnikov V. V., Dr. Tech. Sci., Professor, Academician and Honoured Member of
Russian Academy of Natural Sciences, Academician of World Academy of Sciences
for Complex Safety, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

Hristov B., Dr. Ing., Professor (University of Applied Sciences, Berlin, Germany)

Celani A. (Polytechnic University of Milan, Milan, Italy)

Ciric R. M., Ph. D., Professor (The Higher Technical School of Professional Studies, Novi
Sad, Serbia)

Shebeko Yu. N., Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire
Science (All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia,
Balashikha, Russia)

Shields T. J., Ph. D., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

Shouse R. C., Ph. D. (Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania,
United States)

Yakush S. E., Dr. Phys.-Math. Sci. (A. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of
the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)



КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ

ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ, ТОВАРОВ И УСЛУГ
для **ПОЖАРНОЙ** и ОБЩЕСТВЕННОЙ **БЕЗОПАСНОСТИ**

+7 (343) 239-66-44

STOPFIRE.SOUZPROMEXPO.RU



СЕНТЯБРЬ 2018 | «ДИВС»

ЕКАТЕРИНБУРГ, ОЛИМПИЙСКАЯ НАБЕРЕЖНАЯ 3

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



РЕКЛАМА



ТОП-5 БУДУЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Технологии непрерывно развиваются. От создания простых каменных инструментов до сложных интегрированных систем безопасности человечество расширяет технологические границы. Нигде это не ощущается так остро, как в сфере безопасности.

На выставке Securika Moscow, самой крупной в России международной выставке обеспечения безопасности, демонстрируются оборудование, технологии безопасности и новейшие решения от крупнейших российских и зарубежных производителей. Каковы эти решения? Как безопасность будет выглядеть через 5, 10, 15 лет? Давайте выясним это.

Искусственный интеллект и глубокое обучение

По данным Online Trust Alliance число глобальных киберинцидентов, нацеленных на бизнес, почти удвоилось: с 82 000 в 2016 г. до 159 700 в 2017 г. Большая часть этих инцидентов была вызвана атаками кибервымогателей. Стивен Рейнджер, исполнительный редактор журнала Techrepublic, считает, что такие атаки со временем из бизнеса перейдут в личную сферу. Бен Хаммерсли, британский футуролог и пропагандист новых цифровых технологий, в рамках прошедшего на Securika Форума Безопасности привел такие примеры: “Только когда компания сталкивается с тяжелыми последствиями киберпреступлений, топ-менеджеры задумываются, что для борьбы против продвинутых методов взлома требуется нечто большее, чем человеческая интуиция”.



Что же именно? **ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ!** Искусственный интеллект (ИИ) и глубокое обучение являются последним оружием в войне против киберпреступности.

В валлийской компании AMPLYFI Ltd. используют подход машинного обучения для выявления и нейтрализации онлайн-угроз.

“В кибербезопасности ИИ может автоматически идентифицировать потенциально вредоносное поведение программного обеспечения, векторы атак и связанные с ними аномалии в режиме реального времени, что позволяет постоянно адаптивному механизму защиты выявлять и закрывать вторжения быстрее и проще, чем когда-либо прежде”, — говорит генеральный директор AMPLYFI Ltd. Крис Ганже. — Этот технологический прогресс не только значительно сокращает количество нарушений кибербезопасности, но и дает аналитикам возможность лучше сфокусировать свое время и ускорить процесс выявления нарушений от сотен дней до нескольких часов.”

Умные технологии прокладывают путь к более безопасному миру.

Пожарные дроны

Беспилотные летательные аппараты (БЛА), или беспилотники, формируют множество аспектов современной жизни, в том числе меняют картину современных военных действий, используются в пограничной службе, оптимизируют работу транспорта и логистику по всему миру и даже предоставляют “летающие” точки доступа Wi-Fi.

Одним из наиболее востребованных направлений применения беспилотников является борьба с лесными пожарами. В России до появления БЛА для мониторинга лесных пожаров в основном использовалась авиация: более 310 самолетов и вертолетов ежегодно осуществляли мониторинг пожароопасной ситуации.

Николай Коршунов, заведующий кафедрой охраны лесов от пожаров ФАУ ДПО ВИПКЛХ, приводит следующие варианты использования БЛА для борьбы с пожарами: “Все, начиная от оценки после инцидентов, поиска и спасения, фактического пожаротушения и мониторинга площадки, может быть обработано беспилотными летательными аппаратами”.

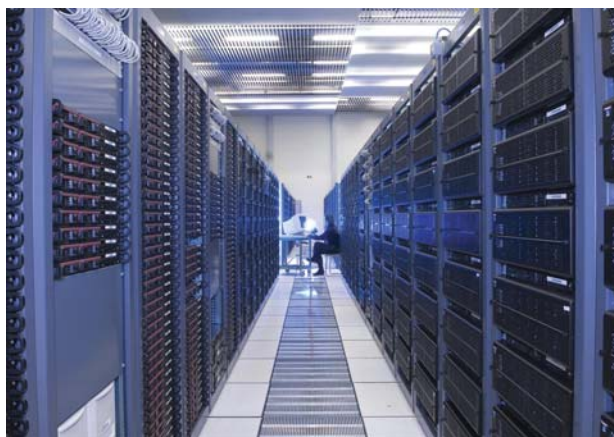


19 % всех экстренных служб организаций США, которые купили дроны между 2009–2017 гг., были пожарные. В Латвии компанией Aeronex LTD в настоящее время разрабатывается модель дрона для использования в борьбе с пожарами в высотных зданиях. Прототип модели компании имеет грузоподъемность 114 кг, поэтому он способен поднять водяной шланг на высоту около 400 м. В случае успеха использование прототипа Aeronex может стать новым методом в борьбе с пожарами, происходящими на больших высотах.

Облачные технологии

Все больше предприятий при выборе информационных технологий (ИТ) предпочитают облачные технологии, при этом разработчики переходят от стратегии cloud-first (облако прежде всего) к принципу cloud-only (только облачные решения). В будущем облака станут основным способом потребления ИТ, однако этот процесс растянется на долгий период, что обеспечит стабильный рост направлений IaaS и SaaS в ближайшие годы. Расходы на SaaS сейчас превышают бюджеты IaaS, однако последний сегмент развивается быстрее. При этом для России характерна постепенная миграция с иностранных сервисов IaaS на российские.

Глобальные поставки облачных решений продолжают расти опережающими темпами по отношению к остальному сегменту рынка информационно-коммуникационных технологий. Желание оптимизировать издерж-



ки и необходимость трансформации бизнеса будут играть на руку облачным провайдерам: согласно прогнозу Gartner к 2020 г. более половины сделок по ИТ-аутсорсингу будут предполагать развертывание облаков. «Организации переходят на облачную стратегию из-за комплексной выгоды, которую предоставляют облака, включая гибкость, масштабируемость, рентабельность, инновации и рост бизнеса», — утверждает директор по исследованием Gartner Сид Нэг (Sid Nag). По его словам, в 2016 г. на облака пришлось примерно одна шестая (или около 17 %) всех затрат на инфраструктуру, приложения, межплатформенное ПО и сервисы по автоматизации бизнес-процессов, при этом к 2021 г. эта цифра возрастет до 28 %.



Решение задач по обеспечению безопасности, связанных с эксплуатацией приложений в новой среде, требует особого подхода. Многие типы угроз (сетевые атаки, уязвимости в приложениях операционных систем, вредоносное программное обеспечение и т. п.) достаточно изучены, и для них разработаны средства защиты, однако их еще нужно адаптировать для использования в облаке.

Ультра-HD CCTV

Достижения в области качества изображения и звука сделали обычный просмотр телевизора и фильмов исключительным опытом. Вне дома мир видеонаблюдения также находится на пороге полной революции — технологии 4k.



Конечно, эта технология была адаптирована для использования в целях безопасности, как только она стала доступной. Ведущие мировые производители систем видеонаблюдения, такие как Hikvision, Samsung и Axis, представили на выставке весь диапазон своих достижений, использующих эту технологию. Следует заметить, что, как и во многих отраслях промышленности, теперь доступно массовое производство таких систем в больших масштабах.

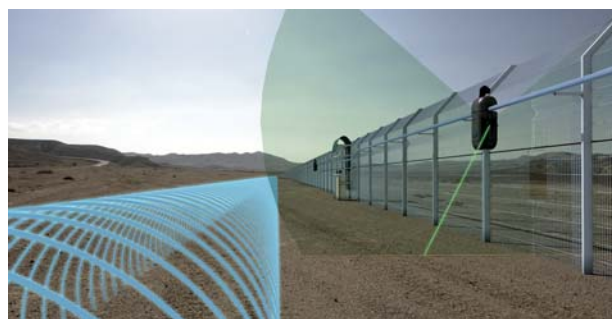


Для потребителя, т. е. организаций и покупателей, нуждающихся в безопасности периметра мирового класса, 4k предлагает огромные преимущества. Во-первых, качество изображения. Яркую, четкую картинку дает высокое разрешение дисплеев, достигаемое за счет огромного количества пикселей. Это значит, что контроль и идентификация, обнаружение лица или номерного знака автомобиля значительно упрощаются.

Еще одним преимуществом данной технологии является сокращение количества камер, необходимых для покрытия одной точки. Две HD-камеры могут удвоить количество камер стандартной четкости, что может привести к экономии средств.

Лазерное ограждение

Когда вы думаете об ограждении и защите периметра физически, то представляете, вероятно, ограждение или стены с контрольно-пропускным пунктом. Однако не все периметры равны. Рельеф и длина играют огромную роль в определении того, какая система подходит в каждом конкретном случае.



Лазерное ограждение активно применяется в коммерческой сфере и испытывается в военной индустрии для защиты зоны вдоль границы.

Это свидетельствует о том, что безопасность переходит от сценария lo-tech к более сложным сценариям обеспечения мировой безопасности.

Познакомиться с последними тенденциями в сфере обеспечения безопасности можно на Московской международной выставке Securika Moscow, которая состоится с 19 по 22 марта 2019 г. в ЦВК “Экспоцентр”.

На сегодняшний день Securika Moscow является самым представительным бизнес-мероприятием международного уровня в индустрии безопасности России и стран СНГ. На выставке представлены все ведущие компании отрасли, из них 30 % — иностранные производители. Securika Moscow традиционно является площадкой для демонстрации новинок в области охраны, безопасности и противопожарной защиты, первая презентация которых проходит во время работы выставки.

Хотите стать экспонентом и продемонстрировать свою продукцию большому количеству профильных специалистов, заинтересованных в ее приобретении? Закажите свой стенд по адресу: <http://www.securika-moscow.ru/ru-RU/exhibitors/book.aspx>.

Кроме того, свяжитесь с нашей командой для получения дополнительной информации о главном российском мероприятии по обеспечению безопасности и противопожарной защиты: Karina.Vorontsova@ite-russia.ru.



Ю. Х. ПОЛАНДОВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель Научно-образовательного центра “Механика жидкости и газа, физика горения”, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева (Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95; e-mail: polandov@yandex.ru)

А. Д. КОРОЛЬЧЕНКО, инженер испытательной лаборатории Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

УДК 614.83;536.46

ОБ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ВИБРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ПРИ ГАЗОВОМ ВЗРЫВЕ В НЕЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

Получено, что при газовых взрывах в камерах, имеющих легкобрасываемую панель, возможно развитие вибрационного горения после сброса панели. Замечено, что начало развития вибрационного горения совпадает с моментом приближения фронта пламени к стенкам камеры. Выявлено, что место зажигания смеси сильно влияет на интенсивность колебаний: в случае приближения устройства зажигания к центру камеры размах колебаний возрастает и может достичь значений, в несколько раз (от 5 до 10 раз) превышающих давление сброса панели, что обозначает вибрационное горение как очень опасный фактор.

Ключевые слова: газовые взрывы; вибрационное горение; опасность; физический эксперимент; место зажигания.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23

Введение.

Актуальность исследования

Согласно статистике [1] более 95 % газовых взрывов происходит в быту. Это обстоятельство отмечаем потому, что взрыв в бытовом помещении имеет свои, характерные для этого случая, условия развития, и прежде всего потому, что взрыв происходит в сравнительно небольших по размеру помещениях, имеющих ограниченное разнообразие форм. Сведения, содержащиеся в нормативах (в том числе в таких основополагающих, как ГОСТ Р 12.3.047–2012, BS EN 14994:2007, NFPA 68) и публикациях о средствах снижения рисков при возможных газовых взрывах в таких помещениях, сводятся к рекомендации использовать окна в качестве легкобрасываемых конструкций (ЛСК), которые способны разрушаться при повышении давления внутри помещения, обеспечивая тем самым соединение объема помещения с атмосферой. Рекомендации, которые содержатся в данных стандартах, основаны на результатах исследований взрывов с зажиганием смеси газ – воздух в середине помещений, близких по своей форме к кубу. В них же даются поправки на “турбулизацию пламени” и на случай взрыва в помещениях, имеющих форму, отличную от кубической и др. [2–9]. О возможном влиянии такого явления, как вибрационное горение, упоминается только в ГОСТ Р 12.3.047, да и то в самых общих чертах. При этом развитие данного варианта взрыва связывается со

скоростью сброса легкобрасываемой конструкции: *“мгновенное” вскрытие сбросного сечения повышает вероятность возникновения вибрационного горения внутри аппарата. Амплитуда в акустической волне вибрационного горения может достигать значений $\pm 0,1$ МПа. Перемешивание смеси, например, вентилятором в процессе развития взрыва приводит к уменьшению амплитуды колебаний давления...”. Следует обратить внимание на то, что значение давления, упомянутое в цитате, более чем на порядок превышает нормативы на допустимое давление в помещениях, да и то только тех, которые относятся к категории по пожаровзрывобезопасности А или Б. О других факторах, кроме “мгновенного вскрытия” и “перемешивания смеси”, влияющих на возникновение и развитие вибрационного горения, в документе не упоминается. Тем не менее это утверждение ставит под сомнение эффективность мер взрывобезопасности, не рассчитанных на развитие этого опасного типа горения.*

Отвечая на вопрос о возможности существования вибрационного горения при газовых взрывах в бытовых помещениях, обратим внимание на то, что зарегистрированные в экспериментах случаи вибрационного горения относятся к объемам, близким по форме к бытовым помещениям [10, 11]. Это дает основание утверждать, что не исключено, что это явление имеет место и в реальности.

Коротко о вибрационном горении

Первые сведения о вибрационном горении как лабораторном эффекте восходят ко временам Хиггинса и Рийке (XIX век) [12]. Наличие этого эффекта на практике известно по публикациям, в которых рассматривалось сжигание углеводородных топлив в промышленных топках и камерах сгорания авиационных и ракетных двигателей. В одних случаях вибрационное горение обозначено как проблема [12, 13], так как оно приводит к разрушению конструкции, а в других — как способ форсирования процесса горения [14]. Заметим, что в этих случаях имеет место горение, характер которого должен быть стационарным или квазистационарным. Другое дело рассматриваемый объект — газовый взрыв, который длится обычно не более 1 с и имеет выраженный нестационарный характер. Оказывается, что во время этого быстротекущего процесса при определенных условиях также может развиваться вибрационное горение, что показано в экспериментах, проведенных у нас, в России [10], и за рубежом [11]. Согласно результатам этих экспериментов при вибрационном горении не только амплитуда колебаний, но и среднее давление взрыва резко (иногда кратно) возрастало по сравнению с обычным взрывом, что не только согласуется с приведенной цитатой, но и расширяет границы опасности. Применительно к реалиям это означает, что, с одной стороны, опасность разрушения помещений и риски, оцениваемые людскими и материальными потерями, намного выше тех, на что рассчитаны нормативы, а с другой — исследование вибрационного горения при газовых взрывах должно быть возведено в ранг проблемы.

О возможности прогнозирования вибрационного горения

Есть ли на самом деле режим вибрационного горения при реальных газовых взрывах в быту или нет? Этот тезис невозможно ни опровергнуть, ни подтвердить, так как бытовые помещения не оснащены современными средствами измерения и регистрации.

Прогнозировать возникновение и развитие вибрационного горения на основе математических моделей, составленных в “дочисловое, докомпьютерное” время и основанных на описании “механизмов обратной связи” [12–14], практически невозможно. Это связано прежде всего с тем, что колебания, развивающиеся при вибрационном горении, носят нелинейный характер, и механизмы, их возбуждающие, также сугубо нелинейны. Короче говоря, это автоколебания. А уравнения, которыми описывали процесс в те годы, могли быть только линейными или, в крайнем случае, должны были иметь малые нелинейности. И не только поэтому. Дело в том, что акустические колебания, имеющие место при виб-

рационном горении, представляют собой процесс с распределенными параметрами и могут быть описаны уравнениями в частных производных, решение которых возможно только численными методами. В настоящее время большие надежды возлагаются на численные методы *CFD* (Computational Fluid Dynamics), однако эти надежды пока не оправдываются, так как до сих пор с их помощью одним авторам не удалось описать эти автоколебания [15–17], а другим удалось лишь обозначить колебательные контуры [18, 19].

Тем не менее нам [8] удалось смоделировать возбуждение акустических колебаний, используя отечественный метод “крупных частиц” [21] при описании газового взрыва в цилиндрической трубе. При этом в системе уравнений, описывающей процесс развития взрыва, не были заложены никакие “обратные связи”: они всплыли сами в результате эволюции решения. К сожалению, в объемах, геометрически подобных бытовым помещениям, описать автоколебания пока не удалось.

Естественно, для исследования процесса вибрационного горения остается избрать затратный и малопроизводительный метод — экспериментальный, при реализации которого исследуется поочередно влияние каждого из факторов на развитие вибрационного горения при газовом взрыве.

В настоящей работе исследовано влияние места воспламенения стехиометрической газовой смеси на развитие вибрационного горения в замкнутом объеме, размер и форма которого приближены к реальным бытовым помещениям.

Средства экспериментального исследования

Испытательный стенд. Эксперимент проводился на базе Института комплексной безопасности в строительстве при НИУ МГСУ с использованием взрывной камеры кубической формы объемом 10 м^3 , соответствующей ГОСТ Р 56289–2014, со сбросным окном площадью 2 м^2 (рис. 1) [20]. В камеру подавался пропан для получения смеси с воздухом, близкой к стехиометрическому составу. Внутри камеры установлены вентилятор для перемешивания смеси и устройство для ее воспламенения. Устройство зажигания в ходе эксперимента перемещалось вдоль оси камеры от клапана до задней стенки. Согласно плану эксперимента зажигание производилось в пяти точках: в плоскости окна, по центру камеры, у задней стенки и в промежутках между ними.

Для обеспечения замкнутости объема малой камеры в процессе приготовления смеси сбросное окно камеры закрывалось клапаном многоходового действия, изготовленным из многослойной фанеры

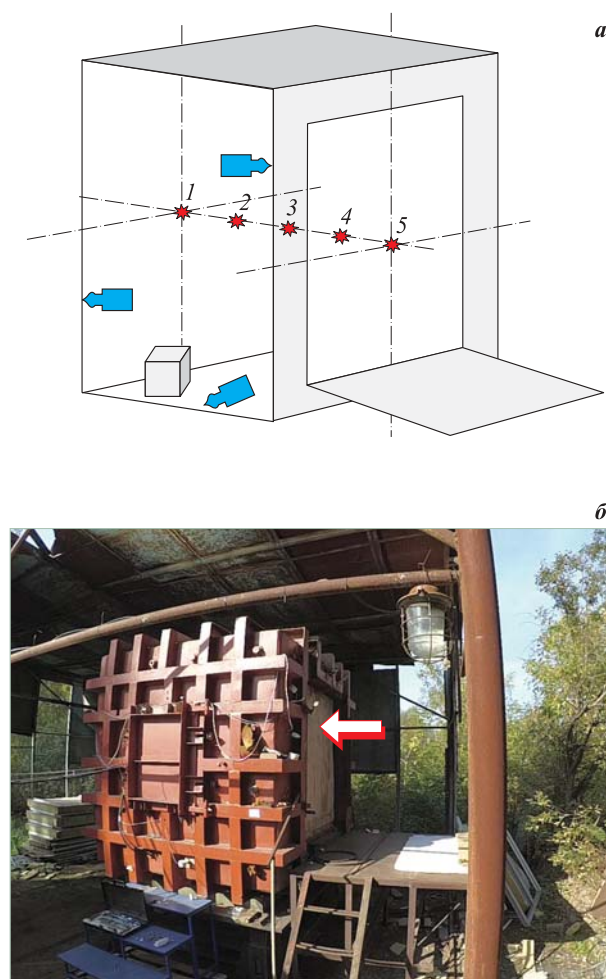


Рис. 1. Схема взрывной камеры (а) и ее исходное состояние (б): → — датчики давления; 1–5 — позиции источника зажигания смеси; стрелкой указано на клапан

с поверхностной плотностью 5 кг/м^2 . При взрыве клапан открывался, и газы сбрасывались в атмосферу. Клапан прижимался к корпусу с помощью двух калиброванных проволок диаметром $1,2 \text{ мм}$, размещенных в верхней части клапана и разрушающихся при нарастании давления в емкости. Нижняя часть клапана прижималась четырьмя проволоками того же диаметра, что обеспечивало вначале разрушение верхних проволок, а затем и нижних. Такая последовательность срабатывания разрушающихся элементов позволяла воспроизводить первые пики давления при взрывах в камере достаточно уверенно.

Средства измерения. В состав системы измерения давления входили следующие устройства: три пьезометрических датчика давления МРХ5050GP (на задней стенке, на боковой стенке по центру и на передней стенке рядом с окном); блок питания датчиков БП04Б-42; аналогово-цифровой преобразователь ЛА-20 USB (производство ЗАО “Руднев-Шиляев”) и персональный компьютер. При обработке базы данных и построения графиков использовалась стандартная программа Excel 2010.

Концентрация газа в емкости определялась измерением его объемного расхода с помощью бытового счетчика газа ВК G4T диафрагменного типа (изготовитель — “Elster-Gmbh”, Германия). Счетчик снабжен устройством термокомпенсации для снижения влияния температуры наружного воздуха, что обеспечивает приемлемую погрешность измерения во всем рабочем диапазоне — не более $1,5 \%$.

Однако есть и другая погрешность, которая формируется в процессе заполнения камеры газом. Дело в том, что при этом в камере нарастает давление, что приводит к истечению из нее газозвушной смеси через всякого рода неплотности и отверстия, которые чаще всего образуются в местах стыка клапана и корпуса. Эта утечка снижает реальное значение концентрации газа в емкости; погрешность при этом может составлять до $2,5 \%$. За счет точного решения задачи о величине утечки газа удалось разработать инженерную методику ее расчета [8]. Методика позволяет рассчитать потребный объем газа, который необходимо подать в камеру, чтобы получить заданную концентрацию:

$$V_r = V(1 - \sqrt{1 - 2c}),$$

где V_r — объем подаваемого газа, м^3 ;

V — объем камеры, м^3 ;

c — ожидаемая концентрация.

Например, в используемую в эксперименте камеру объемом $V = 10 \text{ м}^3$ для достижения концентрации 5% необходимо направить $513,3 \text{ л}$ газа.

Анализ типичного опыта

На рис. 2 приведены видеок кадры взрыва при зажигании в точке 2, на которых видно начало вскрытия клапана, его положение и форма раскрытия истекающей из камеры струи в разные моменты времени от начала взрыва. Неотфильтрованные записи показаний трех каналов регистрации давления приведены на рис. 3. На рисунке можно выделить три стадии развития взрыва. Точка “0” означает подачу сигнала на взрыв, далее в течение первых $0,25 \text{ с}$ давление в камере нарастает до 1500 Па , а затем в результате открытия клапана резко снижается, образуя тем самым первый пик давления. Резкий спад давления вызывает его колебания, которые постепенно затухают. Эти колебания известны и носят имя Гельмгольца. Основанием для такого утверждения служит факт практического совпадения амплитуд и частот колебаний между всеми датчиками давления, т. е. объем камеры ведет себя как единое целое. Этот эффект хорошо известен и описан. Говоря о практическом совпадении амплитуд, тем не менее заметим, что начальное давление у задней стенки в точке А и, соответственно, амплитуда колебаний в этом месте несколько больше, чем в других точках каме-



Рис. 2. Видеокадры взрыва при зажигании смеси в точке 2 в разные моменты времени от начала взрыва: а — 0,12 с; б — 0,20 с; в — 0,30 с; з — 0,70 с

ры. Но это и понятно, поскольку перепад давления то с избытком, то с дефицитом является движущей силой колебания потоков газа при его движении из камеры и в нее.

Колебания затухают по мере снижения среднего давления в камере практически до нуля, но процесс взрыва на этом не заканчивается. Как заметили авторы публикаций В. А. Горев и др. [10] и С. Regis Bauwens, Sergey B. Dorofeev [18], при приближении фронта пламени к углам камеры в ней начинают развиваться акустические колебания (участок БВ). В том, что это акустические колебания, сомнений нет, так как их частота, во-первых, намного выше по сравнению с частотой Гельмгольца и, во-вторых, несмотря на одинаковую частоту колебаний в разных точках камеры, у них и амплитуды разные (но одного порядка). С догоранием смеси затухают акустические колебания в камере, на чем процесс взрыва завершается. Одинаковая частота колебаний (что фиксируется датчиками, расположенными в различных местах камеры) свидетельствует о едином колебательном процессе внутри камеры, что возможно при радиальном типе колебаний с узлами стоячей волны на стенках камеры.

Анализ результатов эксперимента

На рис. 4 приведены результаты обработки 20 опытных взрывов при 4 %-ной объемной концентрации газа при пяти положениях устройства зажигания (см. рис. 1). Обращает на себя внимание слабая воспроизводимость опытов, несмотря на повторение исходных условий при подготовке каждого из них. Это обстоятельство подтверждает сложность изучения такого явления, как акустические колебания при взрывах. Некоторым оправданием может служить то, что другие исследователи обходят этот вопрос, поэтому сравнивать этот важный фактор не с чем.

Единый колебательный процесс колебаний и возможность значительного роста их размаха при центральном положении устройства зажигания (точка 3 на рис. 1) позволяют полагать, что эти колебания носят радиальный характер. Эта гипотеза не противоречит расчету частоты колебаний, если положить, что, с одной стороны, скорость распространения звука в продуктах сгорания $a = \sqrt{kRT} = \sqrt{1,4 \cdot 290 \cdot 1660} \approx 800$ м/с (где k — постоянная Больцмана, $k = 1,4$; R — газовая постоянная, для воздуха можно принять $R = 290$ Дж/(кг·К); T — температура газа, К), а с другой — в камере устанавливается стоячая волна, четверть длины которой равна половине длины камеры (радиусу). В этом случае длина волны L (м) составляет 4 м, и потому частота колебаний $f = L/a = 4/800 = 200$ с⁻¹, что практически совпадает с результатами опытов. Скорост-

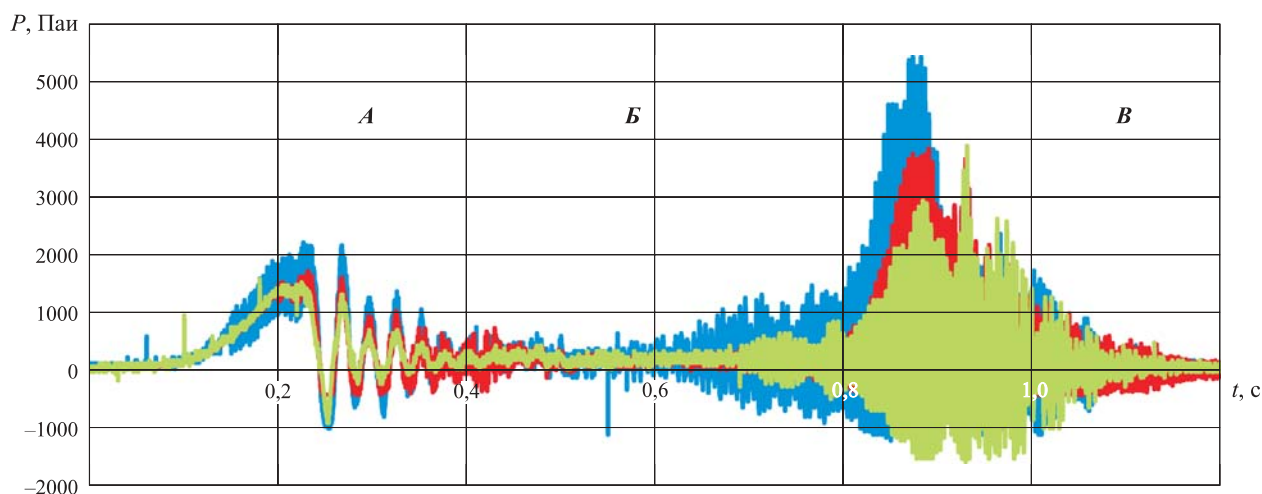


Рис. 3. Развитие давления в камере при зажигании газа в точке 2: — давление у задней стенки; — на боковой стенке; — на передней стенке

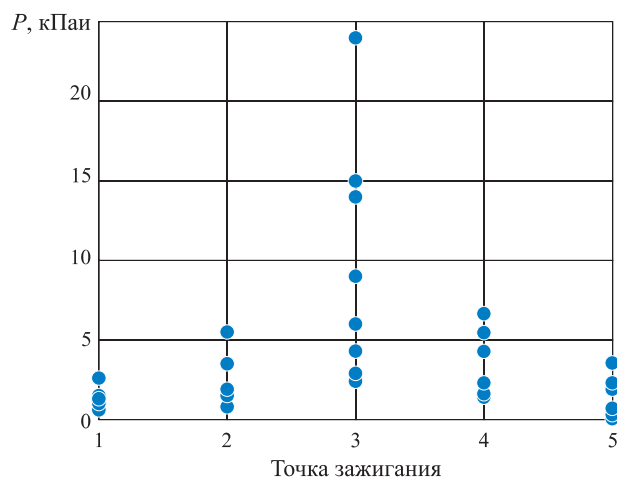


Рис. 4. Зависимость максимальных значений размахов колебаний от позиции зажигания

ной съемкой внутри камеры зафиксировано [10, 11], что колебания возникают тогда, когда фронт пламени приближается к стенкам камеры.

На рис. 4 видна отчетливая тенденция увеличения размаха колебаний с приближением устройства зажигания к центру камеры. Несмотря на большой разброс результатов, особенно при зажигании в центре камеры, можно ожидать, что именно при этом варианте зажигания возможно наиболее опасное развитие взрыва.

Смещение места зажигания от центра камеры делает несимметричным распространение фронта пламени относительно центра, что приводит к “несогласованности” воздействия его на колебательный процесс фронта пламени, невозможности развития резонанса на частоте радиальных колебаний. Этот факт подтверждается также результатами других исследователей [10, 11].

При замене легкого фанерного клапана на ЛСК типа панели с поверхностной плотностью 30 кг/м² [8]

не наблюдалось сколько-нибудь значительных колебаний Гельмгольца и не было даже признаков акустических колебаний (рис. 5). Эти результаты хорошо воспроизводились.

Известно, что в замкнутых (без сброса газов) камерах вибрационное горение не развивается [5]. Что касается “мгновенного вскрытия сбросного сечения” и “перемешивания смеси”, упомянутых в ГОСТ Р 12.3.047, то, во-первых, очевидно, что авторы приняли колебания Гельмгольца за акустические колебания, а во-вторых, факт влияния качества “перемешивания смеси” на вибрационное горение нуждается в экспериментальной проверке.

Интересен еще один эффект, замеченный при зажигании смеси у задней стенки (рис. 6) и хорошо воспроизводимый. Это — колебания Гельмгольца большой амплитуды, которые представлены на рис. 6 двумя пиками на фоне акустических колебаний (вибрационного горения) с небольшой амплитудой. Возможно, это связано с тем, что в этом случае из камеры выбрасывается подавляющая часть газозвушной смеси, которая затем взрывается сразу за окном (энергия взрывной волны при этом может вызвать разрушение остекления в соседних зданиях). Давление взрывной волны на время взрыва “запирает” сечение окна, что приводит к росту давления в камере и возникновению двух пиков давления с частотой Гельмгольца. Максимальное давление в этих пиках незначительно превышает значение первого пика.

Во всех экспериментах, где наблюдалось вибрационное горение [10, 11], объем помещения и площадь окна имели близкие значения безразмерного критерия $B = \sqrt{F}/\sqrt[3]{V} = 0,53 \div 0,60$ (где F — площадь проема окна, V — объем камеры). При значениях этого критерия менее 0,5 вибрационного горения не наблюдалось [7, 16].

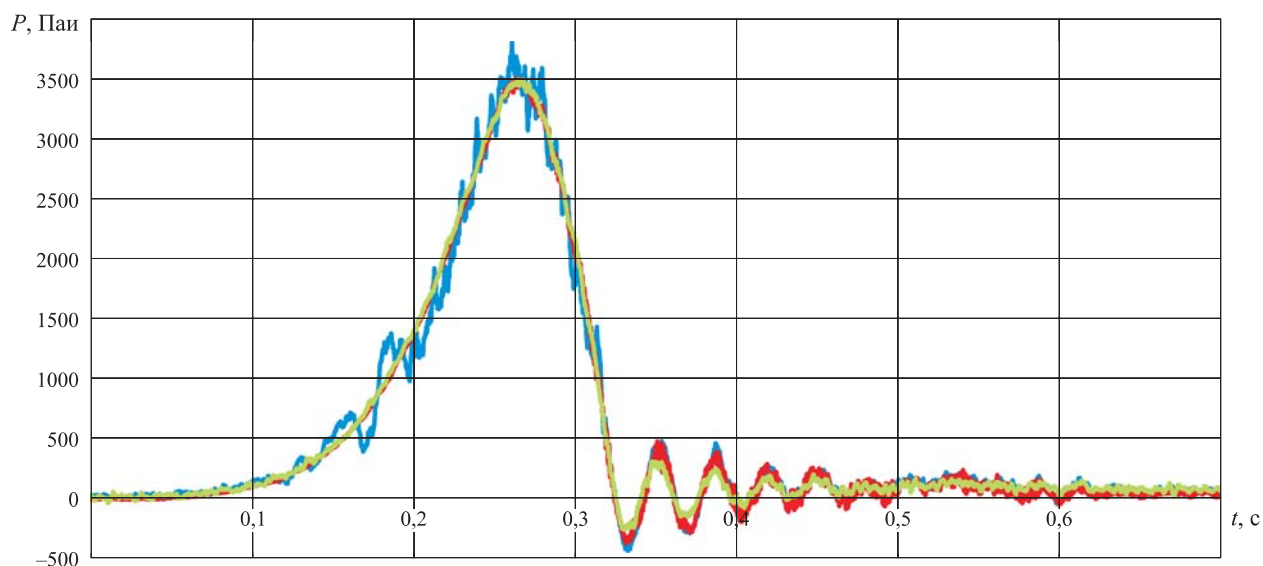


Рис. 5. Развитие давления при сбросе панели массой 60 кг: — давление у задней стенки; — на боковой стенке; — на передней стенке

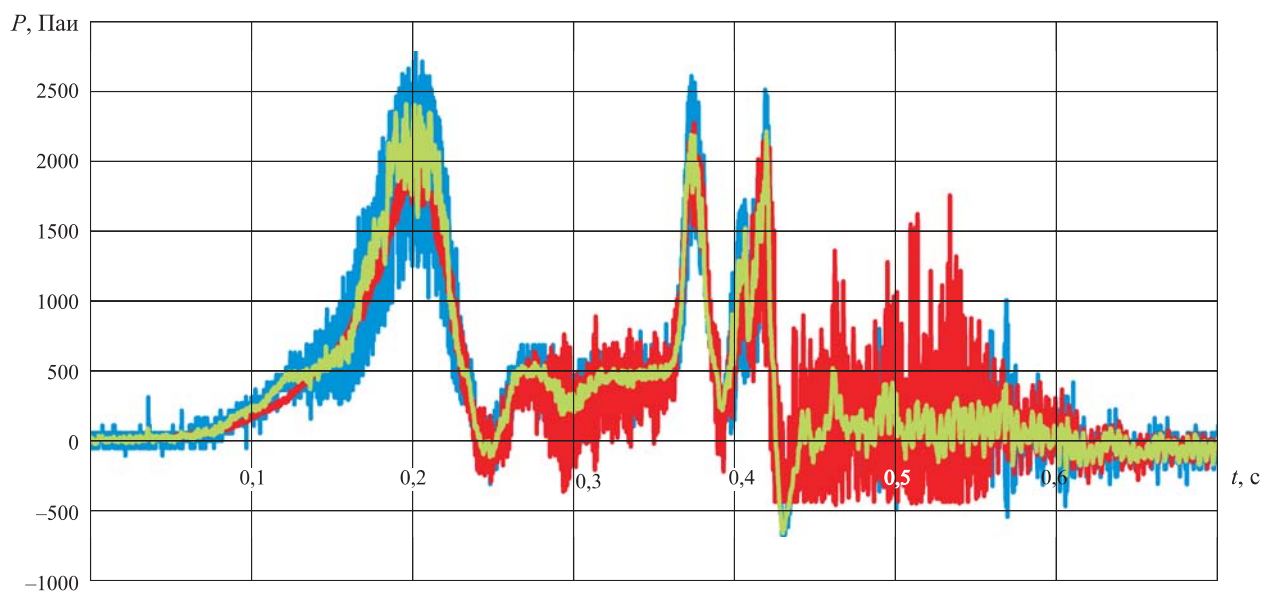


Рис. 6. Развитие давления при зажигании у задней стенки камеры: — давление у задней стенки; — на боковой стенке; — на передней стенке

Условия, при которых возможно вибрационное горение при газовом взрыве

Полученные опытные данные дополнили опубликованные результаты, касающиеся вибрационного горения при взрывах. Это дало возможность выявить условия, при которых возможно вибрационное горение:

- размер камеры не играет роли, во всяком случае этот тип горения наблюдался и при $V = 1 \text{ м}^3$ [10], и при $V = 10 \text{ м}^3$, и при $V = 63 \text{ м}^3$ [11];
- форма камер близка к кубической [10, 11];
- газозвдушная смесь по составу близка к стехиометрической [11];

- значение критерия B превышает 0,53;
- клапан (ЛСК) имеет поверхностную плотность менее 5 кг/м^2 ;
- зажигание газовой смеси производится в центре камеры.

Отклонение от этих условий ведет к уменьшению амплитуды колебаний давления при взрыве вплоть до незначительных проявлений признаков такого типа горения. Насколько условия возникновения вибрационного горения могут быть реализованы в бытовом помещении, сказать однозначно сложно.

Наблюдаемые колебания давления Гельмгольца не имеют отношения к вибрационному горению.

Их возникновение обусловлено резким падением давления в камере при раскрытии окна или газодинамическим запиранием проема окна при газовом взрыве вне камеры. Амплитуда этих колебаний в первом случае не превышает первого пика давления, а во втором (при взрывах вне камеры) — превышает его незначительно.

Выводы

Вибрационное горение при газовом взрыве повышает риски. Для их снижения необходимо выявить основные условия, при которых возникает вибрационное горение. Найдено, что наиболее интенсивными колебания давления бывают в камере оококубической формы при зажигании газовой-

душной смеси в ее центре. На размах колебаний влияют также размер окна, масса ЛСК, качество смеси и другие факторы. Характерными для такого типа горения являются радиальные акустические колебания с частотой по первой моде. Вибрационное горение возникает в момент приближения фронта пламени к стенкам камеры. При сдвиге источника зажигания от центра камеры, увеличении массы ЛСК, уменьшении площади окна, снижении концентрации газа колебания ослабевают.

Благодарность. Экспериментальные данные получены при поддержке и на оборудовании Института комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Взрывы газа с человеческими жертвами в многоквартирных домах в РФ с 2014 по 2017 год. Досье / Информационное агентство России ТАСС. URL: <http://tass.ru/info/4255543> (дата обращения: 05.06.2018).
2. Risto Lautkaski. Modelling of vented gas explosions / Research Report VTT-R-04600-09. — 2009. — 52 p. URL: inf/julkaisut/luut/2009/VTT-R-04600-09.pdf (дата обращения: 05.06.2018).
3. Molkov V., Baratov A., Korolchenko A. Dynamics of gas explosions in vented vessels; review and progress // Dynamic Aspects of Explosion Phenomena, Progress in Astronautics and Aeronautics / Kuhl A. L., Leyer J.-C., Borisov A. A., Sirignano W. A. (eds.). — 1993. — Vol. 154. — P. 117–131. DOI: 10.2514/5.9781600866272.0117.0131.
4. Molkov V. V. Explosions in buildings: modeling and interpretation of real accidents // Fire Safety Journal. — 1999. — Vol. 33, Issue 1. — P. 45–56. DOI: 10.1016/s0379-7112(99)00003-x.
5. Мольков В. В., Некрасов В. П. Динамика сгорания газа в постоянном объеме при наличии истечения // Физика горения и взрыва. — 1981. — Т. 17, № 4. — С. 17–24.
6. Zalosh R. Explosion venting data and modeling literature review. — Batterymarch Park, Quincy, MA : Fire Protection Research Foundataion, 2008. — 52 p.
7. Поландов Ю. Х., Бабанков В. А., Добриков С. А. Особенности развития газового взрыва в помещении при наличии смежной комнаты // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 38–46. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.38-46.
8. Поландов Ю. Х., Добриков С. А., Кукин Д. А. Результаты испытаний легкосбрасываемых конструкций // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14.
9. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. B. Effect of ignition location, vent size, and obstacles on vented explosion overpressures in propane-air mixtures // Combustion Science and Technology. — 2010. — Vol. 182, Issue 11–12. — P. 1915–1932. DOI: 10.1080/00102202.2010.497415.
10. Горев В. А., Беляев В. В., Федотов В. Н. Условие начала вибрационного горения в разгерметизированном сосуде прямоугольной формы // Физика горения и взрыва. — 1989. — Т. 25, № 1. — С. 36–39.
11. Bauwens C. R., Dorofeev S. B. Parameters affecting flame-acoustic flame instabilities in vented explosions // 24th ICDERS (July 28 – August 2, 2013, Taiwan, Taipei). — 6 p. URL: <http://www.icders.org/ICDERS2013/PapersICDERS2013/ICDERS2013-0216.pdf> (дата обращения: 05.06.2018).
12. Раушенбах Б. В. Вибрационное горение. — М. : Физматгиз, 1961. — 500 с.
13. Крокко Л., Синь-и Чжень. Теория неустойчивости горения в жидкостных ракетных двигателях / Пер. с англ. — М. : Изд-во иностр. лит., 1958. — 351 с.
14. Ларионов В. М., Зарипов Р. Г. Автоколебания газа в установках с горением. — Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003. — 227 с.
15. Pedersen H. H., Middha P. Modelling of vented gas explosions in the CFD tool FLACS // Chemical Engineering Transactions. — 2012. — Vol. 26. — P. 357–362. DOI: 10.3303/CET1226060.
16. Комаров А. А., Бажина Е. В. Определение параметров динамических нагрузок от аварийных взрывов, действующих на здания и сооружения взрывоопасных производств // Вестник МГСУ. — 2013. — № 12. — С. 14–19.

17. Ping Tang, Juncheng Jiang. Numerical simulation of duct-vented gas explosion // Procedia Engineering. — 2011. — Vol. 18. — P. 25–30. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.005.
18. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. Experimental and numerical study of methane-air deflagrations in a vented enclosure // Fire Safety Science. — 2008. — Vol. 9. — P. 1043–1054. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-1043.
19. Bauwens L., Bauwens C. R. L., Wierzbka I. Oscillating flames: multiple-scale analysis // Proceedings of the Royal Society. A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. — 2009. — Vol. 465, Issue 2107. — P. 2089–2110. DOI: 10.1098/rspa.2008.0388.
20. Поландов Ю. Х., Добриков С. А., Корольченко А. Я. Взрыв газа в цилиндрической трубе с отверстием на боковой поверхности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 11. — С. 17–26. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.17-26.
21. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. — М.: Наука, 1982. — 392 с.

Материал поступил в редакцию 15 июня 2018 г.

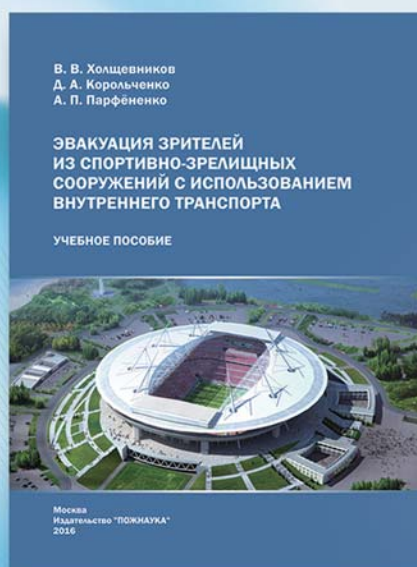
Для цитирования: Поландов Ю. Х., Корольченко А. Я. Об условиях развития вибрационного горения при газовом взрыве в незамкнутом объеме // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 9–23. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23.



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



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

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М.: Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

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

Для заказа книги пишите нам по адресу:

121352, г. Москва, а/я 6,
или звоните по телефону
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:
mail@firepress.ru.

Yu. Kh. POLANDOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Scientific-Educational Center "Fluid Mechanics. Combustion", Orel State University named after I. S. Turgenev (Komsomolskaya St., 95, Orel, 302026, Russian Federation; e-mail: polandov@yandex.ru)

A. D. KOROLCHENKO, Engineer of Testing Laboratory of Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

UDC 614.83;536.46

ON CONDITIONS ENABLING RESONANT COMBUSTION IN GAS EXPLOSION IN NON-ENCLOSED VOLUME

It has been observed, that resonant combustion may develop in gas explosions taking place in chambers with light relief panel after the panel is removed. It has been noted, that initiation of the resonant combustion coincides with the moment of the combustion wave approaching the chamber walls. It has been found out that the location of the ignition point has a great influence over the oscillation intensity: when the ignition happens closer to the center of the chamber, the amplitude increases and may reach the values that are from 5 to 10 times higher than the panel removal pressure, thus signifying the resonant combustion as a highly hazardous factor.

Keywords: gas explosions; resonant combustion; hazard; physical experiment; ignition point.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23

Introduction. Rationale

Statistics shows that over 95 % of gas explosions take place in households [1]. This circumstance is notable, as an explosion in domestic space has characteristic development conditions, primarily because the explosion takes place in relatively small rooms that have a limited variety of forms. Information in regulatory documents (including the fundamental ones, such as GOST R 12.3.047–2012, BS EN 14994:2007, NFPA 68) and published papers covering risk reduction for possible gas explosion in such premises amounts to a recommendation to use windows as relief structures (RS) that are destructible when the pressure inside increases, thus providing connection of the inner volume with the atmosphere. Recommendations in these standards are based upon studies of explosions with ignition of *gas-air* mixture in the middle of approximately cubic rooms. They also have corrections for flame-generated turbulence in case of explosion at premises with the form deviating from cubic one, etc. [2–9]. Only GOST R 12.3.047 passingly mentions a possible influence of resonant combustion and only. At that, development of this variant of explosion is linked with the relief structure removal speed: *"momentary" breaking of relief section increases probability of resonant combustion arising inside the apparatus. Amplitude in the acoustic wave of resonant combustion may attain ± 0.1 MPa. Actuating the mixture, e. g., with a fan during the development of the explosion leads to decrease in amplitude of pressure oscillations...*. It should be noted, that the value of pressure stated in this quotation is more than an order of magnitude higher

than the allowable pressure indoors and only for premises that are in category A or B of fire-explosion safety. The document mentions no other factors influencing appearance and development of resonant combustion other than momentary breaking and actuating the mixture. Nevertheless, this statement puts the efficiency of fire and explosion safety measures in question, if they do not cover development of this dangerous type of combustion.

Answering the question whether the resonant combustion is possible in gas explosions in residential properties, let us note that the experimentally registered events of resonant combustion refer to volumes that are close to those of residential properties [10, 11]. It gives us ground to suppose that such phenomenon may take place in real life.

Resonant combustion in brief

The first reports of resonant combustion as a laboratory effect date back to the times of Higgins and Rijke (XIX century) [12]. Appearance of this effect is known from publications that analyzed burning of hydrocarbon fuels in industrial furnaces and combustion chambers of aircraft and rocket engines. In some cases the resonant combustion was marked as a problem [12, 13], as it leads to destruction of the structure, in others — as a way to boost the combustion process [14]. Let us note that in those cases there was a combustion with a stationary or quazistationary nature. Gas explosion, which lasts for less than one second and has a pronouncedly non-stationary nature, is a different story. It turns out that during this fast process, under certain conditions the re-

sonant combustion may develop as well, as it is evident from experiments conducted both in Russia [10] and abroad [11]. According to the results of these experiments, under resonant combustion conditions, both amplitude of oscillations and the average explosion pressure underwent abrupt increase (sometimes several-fold) in comparison to a regular explosion, which is not only supportive of the quote above, but also extends the hazard boundary. With respect to real-life situations, it means that, on the one hand, the hazard of building destruction and both loss of life and loss of property risks are significantly higher than those stated in the regulations, and on the other hand, that studying the resonant combustion in gas explosions shall be seen as a viable problem.

On possibility of predicting the resonant combustion

Is there a resonant combustion mode in real-life domestic gas explosions? This thesis is impossible to contest, neither support, as the residential accommodations are not equipped with modern means of measurement and recording.

It is virtually impossible to predict appearance and development of the resonant combustion from mathematical models that were created before the rise of computers and digital technologies and based upon feedback mechanism [12–14]. This is primarily due to the fact that the oscillations that develop during the resonant combustion have non-linear characteristics and mechanisms of their actuation are also exclusively non-linear. In short, they are self-sustained oscillations. During those years, the equations used for process description were almost exclusively linear, or, if absolutely necessary those of low non-linearity. It is also not the only cause. The thing is, acoustic oscillations appearing in the resonant combustion are a process with distributed parameters and they may be described with partial differential equations, which may be solved only numerically. Currently, there are great hopes for *CFD* (Computational Fluid Dynamics) numerical methods, however as of now these hopes have been fruitless, as one group of authors failed to describe these self-sustained oscillations using the methods [15–17], while another group of authors succeeded only after marking the oscillating contours [18, 19].

Nevertheless, the authors of [8] succeeded in modeling acoustic oscillation excitation when describing a gas explosion in a cylindrical tube while applying the large-particle method having been developed in Russia [21]. At that, the system of equations used to describe the explosive development did not have any feedback loops: they appeared on their own, as a result of evolution of the solution. Unfortunately, self-sustained oscil-

lations are still not described for volumes similar to those of accommodation spaces.

Naturally, to study the resonant combustion process we shall select an expensive and inefficient experimental method, aiming at thoroughly looking through each factor that may influence the resonant combustion development under gas explosion conditions.

This paper studies influence of the stoichiometric mixture ignition point location in open volume with a size and form close to those of real-life accommodations.

Experimental means

Test bench. The experiment was carried out at the premises of Moscow State Construction University's Institute of Complex Construction Safety with the help of a cubic explosion chamber with the volume of 10 m^3 , complying with the requirements of GOST R 56289–2014 and provided with a relief window with the area of 2 m^2 (Fig. 1) [20]. Propane was fed into the chamber until a mixture with air close to stoichiometric was obtained. Inside the chamber, there was a fan for mixture agitation and an ignition device. During the experiment,

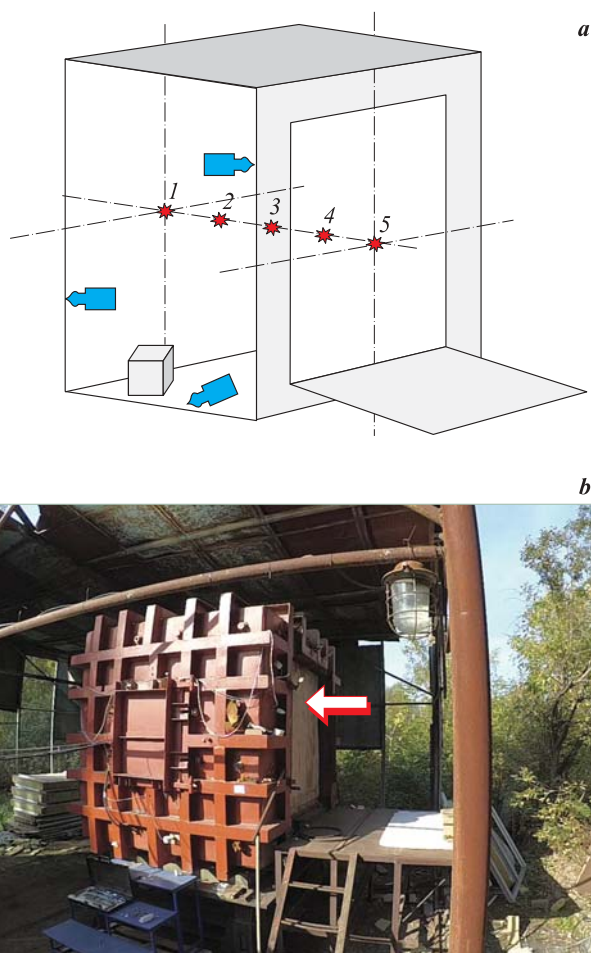


Fig. 1. Diagram of the chamber (a) and its initial state (b): → — pressure sensors; 1–5 — locations of ignition device; the arrow shows the valve location

the ignition device was moved along the chamber axis from the valve to the back wall. According to the design of the experiment, ignition happened in five various points: in the window plane, in the center of the chamber, at the back wall and in the midway from the center.

To provide enclosed nature of the small chamber when preparing the mixture, the relief window were locked with a multi-use valve made of laminated wood with the surface density of 5 kg/m^2 . During the explosion, the valve is opened and the gases are released to the atmosphere. The valve was pressed against the body with two calibrated 1.2 mm wires located in the upper part of the valve and breaking when the pressure in the enclosure rises. The lower part of the valve was similarly pressed with four wires of the same diameter, thus ensuring that the top wires to be broken first and the bottom ones last. Such a sequence of actuation of collapsing elements allowed rather confidently reproducing the first pressure peaks of explosions in the chamber.

Measuring equipment. The pressure measuring system included the following devices: three piezometric pressure transmitters MPX5050GP (at the back wall, as the center of the sidewall and at the front wall near the window); transmitter power supply BP04B-42; ADC LA-20 USB (manufactured by ZAO Rudnev-Shilyayev) and a PC. A standard version of Microsoft Excel 2010 was used for data processing and plotting.

Gas concentration in the volume was determined by measuring its voluminous flow with a household-grade orifice gas meter BK G4T (manufactured by Elster-Gmbh, Germany). The meter is provided with a thermal compensation device to reduce the influence of ambient air temperature, thus ensuring admissible error of measurement throughout the working range: 1.5 % maximum.

However, there is another type of error due to the process of filling the chamber with gas. The thing is, the pressure in the chamber increases, leading to gas-air mixture leaving the chamber through any type of leaks and openings, usually at the joint between the valve and the body. This leakage reduces the real value of gas concentration in the room, the error may reach up to 2.5 %. Thanks to accurate solution of the gas leakage problem, an engineering method for its calculation has been developed [8]. The method allows calculating the gas volume that shall be supplied to the chamber to obtain a required concentration:

$$V_g = V(1 - \sqrt{1 - 2c}),$$

where V_g is the volume of supplied gas, m^3 ;

V is the chamber volume, m^3 ;

c is the required concentration.

For instance, for the chamber with the $V = 10 \text{ m}^3$ that was employed in the experiments, to attain 5 % concentration, it was necessary to supply 513.3 liter of gas.

Analysis of typical experiment

Fig. 2 shows video capture of an explosion with ignition in Point 2, where one may see the beginning of valve cracking, its location and the expansive form of the jet exiting the chamber in various moments from the beginning of the explosion. Unfiltered recordings of the three channels of pressure measurement are given in Fig. 3. Three stages of explosion development may be distinguished in the figure. Point 0 means the signaling of the explosion, then, during the first 0.25 sec pressure in the chamber increases to 1500 Pag, then, as a result of valve opening it drops abruptly, forming the first pressure peak. The abrupt drop in pressure causes oscillations that gradually fade. These are Helmholtz oscillations. This statement is grounded in the fact that the oscillation amplitudes and frequencies are virtually the same for all the pressure transmitters, that is, the chamber volume behaves as an integral whole. This effect is well-known and described. Speaking of virtual equality of the amplitudes, we shall nevertheless note that the initial pressure (and oscillation amplitude) at the back wall in Point A is somewhat higher than in other points of the chamber. However, this is understandable, as pressure difference with its excesses and deficiencies is the moving force behind the gas flow oscillations when the gas proceeds into the chamber and out of it.

The oscillations fade as the average pressure in the chamber falls to zero, but the explosion process does not end there. As it has been noted by V. A. Gorev et al [10] and C. Regis Bauwens, Sergey B. Dorofeev [18], when the combustion wave approach the corners of the chamber, acoustic oscillations arise (segment BC). There is no doubt that they are acoustic oscillation, as, first, their frequency is much higher than the Helmholtz frequency, and second, despite the same frequency of the oscillation in various points of the chamber, its amplitudes differ (but are of the same order of magnitude). The acoustic oscillations fade with afterburning of the mixture in the chamber, thus ending the explosion process. The same frequency of oscillations (registered by transmitters in various locations of the chamber) is the evidence of an integral oscillatory process inside the chamber, which is possible for radial type of oscillations with standing pressure wave nodes at the chamber walls.

Analysis of the experimental results

Fig. 4 shows the results of processing 20 experimental explosions at 4 % by vol. concentration of gas and five locations of the ignition device (see Fig. 1). Weak repeatability of the experiment is notable, despite the same starting conditions used in its preparation. This circumstance support the complicated nature of studying such a phenomenon as acoustic oscillations in explosions. It may be excused by the fact that other re-

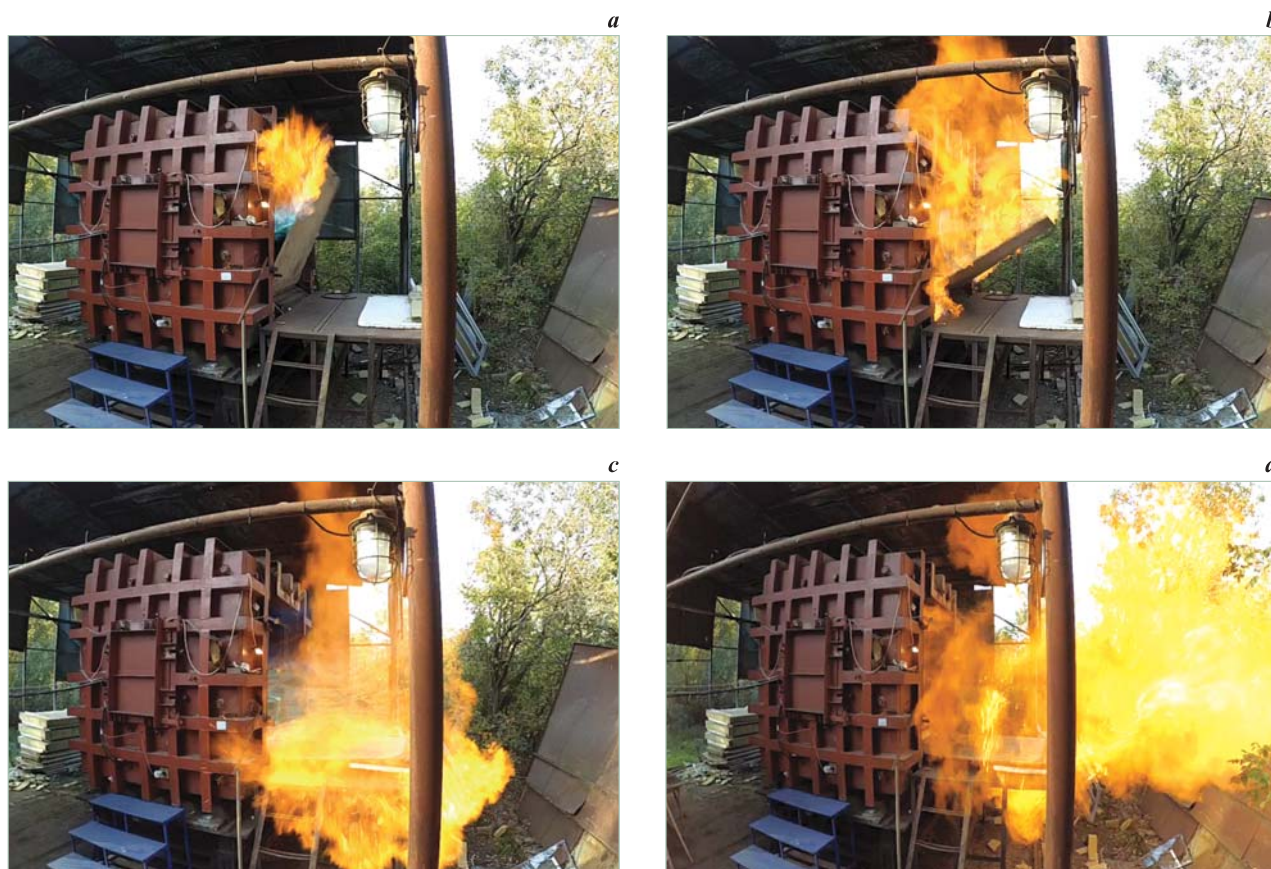


Fig. 2. Still frames from mixture ignition in Point 2 at various moments from the beginning of the explosion: *a* — 0.12 sec; *b* — 0.20 sec; *c* — 0.30 sec; *d* — 0.70 sec

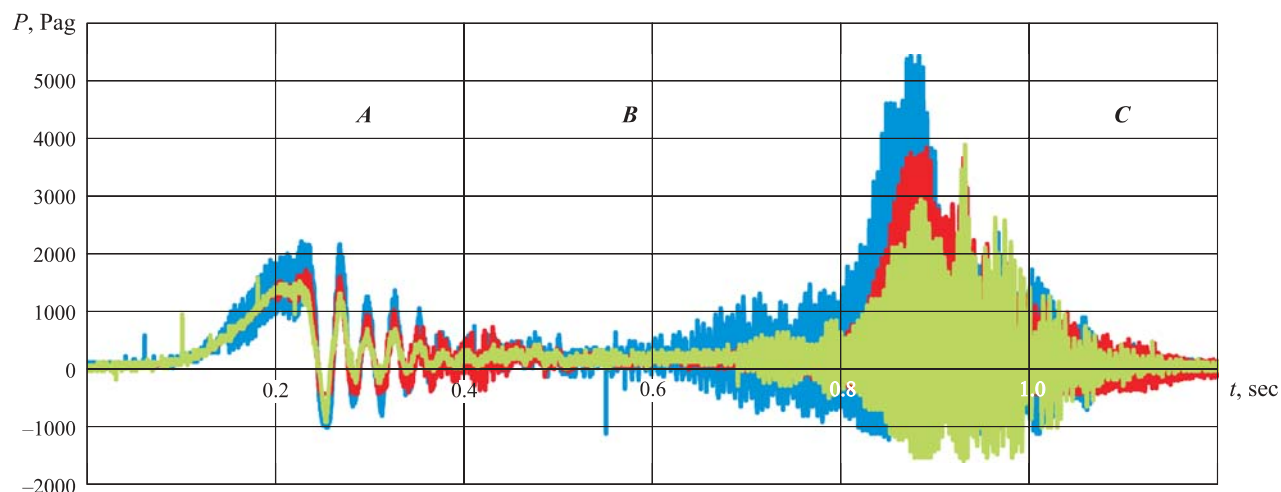


Fig. 3. Pressure evolution in the chamber when igniting the gas in Point 2: — pressure at the back wall; — pressure at the side wall; — pressure at the front wall

searchers stay away from this issue, so there is nothing to compare this important factor to.

The common oscillatory process and the possibility for a significant growth of their excursion in case of central location of the ignition device (Point 3 in Fig. 1) allow assuming that these oscillations have a radial nature. This hypothesis is in agreement with frequency calculation, if we assume that, on the one hand, the speed of sound in the combustion products is $a = \sqrt{kRT} =$

$= \sqrt{1.4 \cdot 290 \cdot 1660} \approx 800$ m/s (where k is Boltzmann's constant, $k = 1.4$; R is the gas constant, for air we may take $R = 290$ J/(kg·K); T is the gas temperature, K), on the other hand, there is a standing wave in the chamber with its quarter-wavelength equal to the half of the chamber's length (radius). In this case, the wavelength L (m) is 4 m, and thus frequency of oscillation $f = L/a = 4/800 = 200$ sec⁻¹, which is virtually the same as in the experimental results. High-speed filming inside

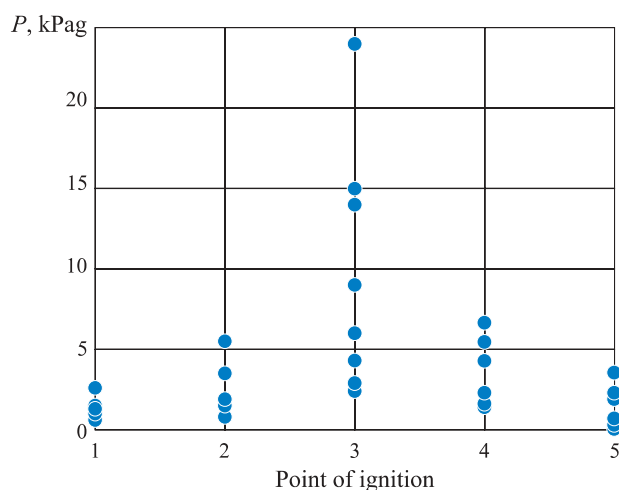


Fig. 4. Maximum excursion of oscillations depending on location of ignition

the camera [10, 11] has shown that the oscillations arise when the combustion wave approaches the walls of the chamber.

In Fig. 4 there is a vivid trend to increased excursion of the oscillations when the ignition device is located closer to the center of the chamber. Despite the wide scatter of the results, especially when igniting in the center of the chamber, one may expect that this variant of ignition results in a possibly most hazardous development of the explosion.

Moving the ignition away from the center of chamber makes the combustion wave asymmetric with respect to the center, thus leading to mismatch of its action upon the oscillatory process of the combustion wave and impossibility to develop a resonance at the radial oscillation frequency. This fact is also supported by results from other researchers [10, 11].

When replacing the light plywood valve with RS with a surface density of 30 kg/m^2 [8], there were no significant Helmholtz oscillations recorded and no symptoms of acoustic oscillations at all (Fig. 5). These results had good repeatability.

It is known, that in closed (without gas relief) chambers the resonant combustion never develops [5]. Speaking of *momentary break of relief section* and *mixture actuation* mentioned in GOST R 12.3.047, first, it is evident that the authors of the standard took Helmholtz oscillations for acoustic ones, and second, influence of actuation onto resonant combustion requires further experimental verification.

There is another interesting effect that was noted when igniting the mixture near the back wall (Fig. 6) and which is well repeatable. It is Helmholtz oscillations of large amplitude represented in Fig. 6 with two peaks against the acoustic oscillations (resonant combustion) of low amplitude. It is possible that it is due to the fact that in this case the most of the gas-air mixture is ejected from the chamber and then immediately explode outside the window (energy of this explosion may cause destruction of glazing in nearby buildings). Explosive pressure during the explosion locks the window section, leading to increased pressure in the chamber and appearance of two pressure peaks with the Helmholtz frequency. Maximum pressure in these peaks is insignificantly higher than the value of the first peak.

In all the experiments where resonant combustion was observed [10, 11], the volume of the room and the area of the window had close values of the dimensionless factor criterion $B = \sqrt{F}/\sqrt[3]{V} = 0,53 \div 0,60$ (where F is the window area, V is the chamber volume). When this criterion is less than 0.5, no resonant combustion was observed [7, 16].

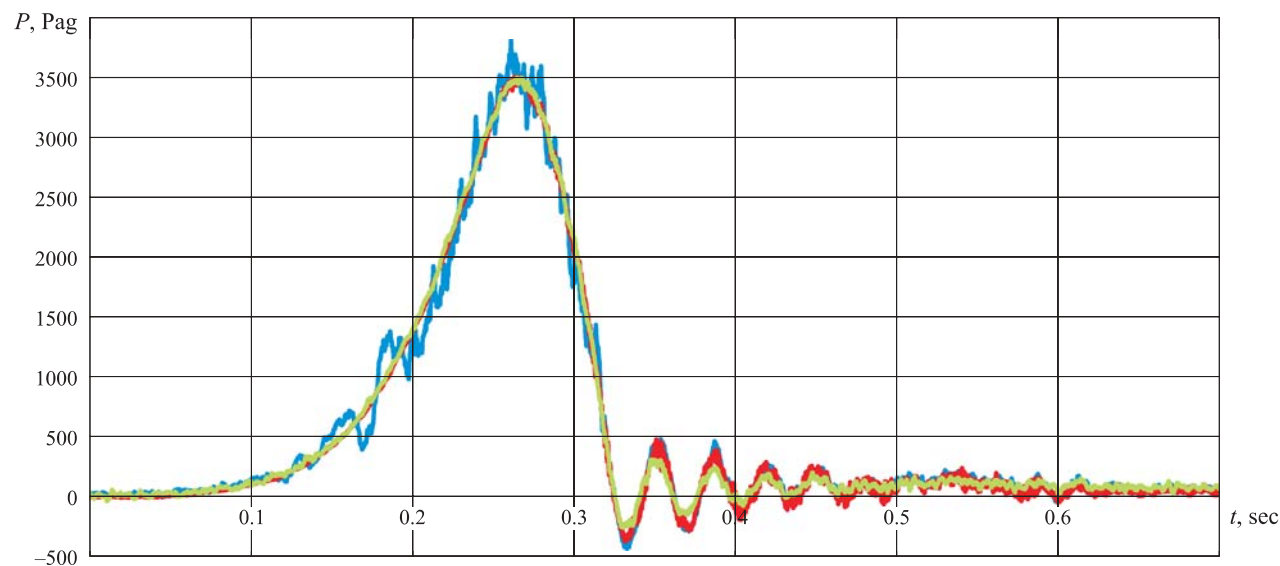


Fig. 5. Pressure evolution when relieving a panel with a weight of 60 kg: — pressure at the back wall; — pressure at the side wall; — pressure at the front wall

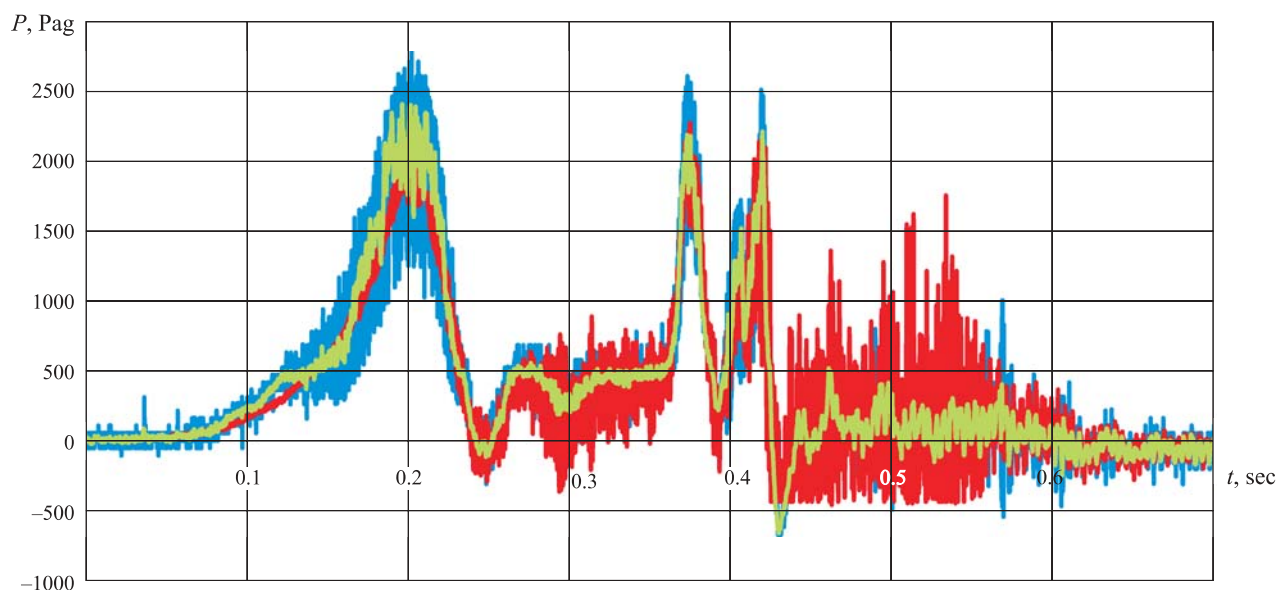


Fig. 6. Pressure evolution for ignition near the back wall of the chamber: — pressure at the back wall; — pressure at the side wall; — pressure at the front wall

Conditions that enable resonant combustion in gas explosion

The experimental data obtained allowed to complement the previously published results pertaining to resonant combustion in explosion. It allowed identifying the conditions that make the resonant combustion possible:

- the size of the chamber is on no importance: this type of combustion was observed for chambers with $V = 1 \text{ m}^3$ [10], $V = 10 \text{ m}^3$, and $V = 63 \text{ m}^3$ [11];
- chamber forms is close to cubic one [10, 11];
- gas-air mixture is close to stoichiometric one [11];
- the value of criterion B is higher than 0.53;
- the valve (RS) has the surface density lower than 5 kg/m^2 ;
- ignition of the gas mixture takes place in the center of the chamber.

Deviation from these conditions leads to reduced amplitude of the oscillations in explosion, down to insignificant manifestations of such type of combustion. It is hard to tell, how well these resonant-combustion-enabling conditions may be implemented in an accommodation space.

The Helmholtz oscillations of pressure are irrelevant to the resonant combustion. They arise due to an abrupt drop in pressure when the window is opened, or when the window section is under gas-dynamic lock

due to a gas explosion outside the chamber. The amplitude of these oscillations in the first case never exceeds the first pressure peak, while in the second case (explosions outside the chamber) it exceeds the first peak insignificantly.

Conclusions

Resonant combustion in gas explosion increases hazard level. To reduce the hazard, it is necessary to identify the main conditions enabling the resonant combustion. It has been found out, that the oscillations of the highest intensity are observed in chambers that approach cube in their form and when the gas-air mixture is ignited in the center of the chamber. Window size, RS weight, quality of the mixture and other factors also influence the amplitude. Radial acoustic oscillations with the frequency of the first mode are characteristic for this type of combustion. The resonant combustion arises when the combustion wave approaches the walls of the chamber. The oscillations are weakened if the ignition source moved away from the center of the chamber, RS weight is increased, window area is reduced or gas concentration is reduced.

Acknowledgment. The experimental data were obtained with support and on the equipment of the Institute of Complex Safety of Construction of Moscow State Construction University.

REFERENCES

1. *Gas explosions with casualties in apartment buildings in Russia from 2014 to 2017. Dossier.* TASS Russian News Agency (in Russian). Available at: <http://tass.ru/info/4255543> (Accessed 5 June 2018).
2. Risto Lautkaski. Modelling of vented gas explosions. *Research Report VTT-R-04600-09*. Available at: inf/julkaisut/muut/2009/VTT-R-04600-09.pdf (Accessed 5 June 2018).

3. Molkov V., Baratov A., Korolchenko A. Dynamics of gas explosions in vented vessels; review and progress. In: Kuhl A. L., Leyer J.-C., Borisov A. A., Sirignano W. A. (eds.). *Dynamic Aspects of Explosion Phenomena, Progress in Astronautics and Aeronautics*, 1993, vol. 154, pp. 117–131. DOI: 10.2514/5.9781600866272.0117.0131.
4. Molkov V. V. Explosions in buildings: modeling and interpretation of real accidents. *Fire Safety Journal*, 1999, vol. 33, issue 1, pp. 45–56. DOI: 10.1016/s0379-7112(99)00003-x.
5. Molkov V. V., Nekrasov V. P. Dynamics of gas combustion in a constant volume in the presence of the expiration. *Fizika gorennya i vzryva / Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1981, vol. 17, no. 4, pp. 17–24 (in Russian).
6. Zalosh R. *Explosion venting data and modeling literature review*. Batterymarch Park, Quincy, MA, Fire Protection Research Foundation, 2008. 52 p.
7. Polandov Yu. Kh., Babankov V. A., Dobrikov S. A. Features of influence of adjacent rooms on the development of gas explosion. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 38–46 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.38-46.
8. Polandov Yu. Kh., Dobrikov S. A., Kukin D. A. Results of tests pressure-relief panels. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14.
9. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. B. Effect of ignition location, vent size, and obstacles on vented explosion overpressures in propane-air mixtures. *Combustion Science and Technology*, 2010, vol. 182, issue 11–12, pp. 1915–1932. DOI: 10.1080/00102202.2010.497415.
10. Gorev V. A., Belyaev V. V., Fedotov V. N. The condition for the initiation of vibration combustion in a depressurized rectangular vessel. *Fizika gorennya i vzryva / Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1989, vol. 25, no. 1, pp. 36–39 (in Russian).
11. Bauwens C. R., Dorofeev S. B. Parameters affecting flame-acoustic flame instabilities in vented explosions. In: Proceedings of 24th ICDERS (July 28 – August 2 2013, Taiwan, Taipei). 6 p. Available at: <http://www.icders.org/ICDERS2013/PapersICDERS2013/ICDERS2013-0216.pdf> (Accessed 5 June 2018).
12. Raushenbakh B. V. *Vibratsionnoye gorennye* [Vibratory burning]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1961. 500 p. (in Russian).
13. Crocco Luigi, Sin-I Cheng. Theory of combustion instability in liquid propellant rocket motors. Butterworth, London, 1956. 200 p. (Russ. ed.: Crocco Luigi, Sin-I Cheng. Teoriya neustoychivosti gorennya v zhidkostnykh raketnykh dvigatelyakh. Moscow, Foreign Languages Publishing House, 1958. 351 p.).
14. Larionov V. M., Zaripov R. G. Avtokolebaniya gaza v ustanovkakh s gorennyem [Self-oscillation of gas in installations with combustion]. Kazan, Kazan National Research Technical University Publ., 2003. 227 p. (in Russian).
15. Pedersen H. H., Middha P. Modelling of vented gas explosions in the CFD tool FLACS. *Chemical Engineering Transactions*, 2012, vol. 26, pp. 357–362. DOI: 10.3303/CET1226060.
16. Komarov A. A., Bazhina E. V. Determining the dynamic load caused by accidental explosions affecting buildings and structures of hazardous areas. *Vestnik MGSU / Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2013, no. 12, pp. 14–19 (in Russian).
17. Ping Tang, Juncheng Jiang. Numerical simulation of duct-vented gas explosion. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 18, pp. 25–30. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.005.
18. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. Experimental and numerical study of methane-air deflagrations in a vented enclosure. *Fire Safety Science*, 2008, vol. 9, pp. 1043–1054. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-1043.
19. Bauwens L., Bauwens C. R. L., Wierzbza I. Oscillating flames: multiple-scale analysis. *Proceedings of the Royal Society. A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2009, vol. 465, issue 2107, pp. 2089–2110. DOI: 10.1098/rspa.2008.0388.
20. Polandov Yu. Kh., Dobrikov S. A., Korolchenko A. Ya. Gas explosion in a cylindrical tube with a hole on the lateral surface. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 17–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.17-26.
21. Belotserkovskiy O. M., Davydov Yu. M. *Metod krupnykh chastits v gazovoy dinamike* [The method of large particles in gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 392 p. (in Russian).

Received 15 June 2018

For citation: Polandov Yu. Kh., Korolchenko A. D. On conditions enabling resonant combustion in gas explosion in non-enclosed volume. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 9–23. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23.

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

И. В. СИТНИКОВ, старший преподаватель кафедры техносферной и пожарной безопасности, Воронежский государственный технический университет (Россия, 394006, г. Воронеж, Московский просп., 14; e-mail: igorsitnikov.vrn@gmail.com)

О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, канд. юрид. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ol-26@mail.ru)

П. В. КОМРАКОВ, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры процессов горения, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

ДО ТХАНЬ ТУНГ, канд. техн. наук, научный сотрудник Главного управления пожарной безопасности и спасения Министерства общественной безопасности Вьетнама (Вьетнам, 100000, г. Ханой, ул. Динх Ле, 2А; e-mail: dotung1288@gmail.com)

УДК 614.841.4

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПО ВЫСОТЕ ПОМЕЩЕНИЯ НА ВЫСОТУ ПЛОСКОСТИ РАВНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Выполнена теоретическая оценка влияния неоднородного распределения температур по высоте помещения на высоту плоскости равных давлений при пожаре. Показано, что в открытом проеме могут существовать две нейтральные плоскости. Получены экспериментальные зависимости распределения температур по высоте и высоты плоскости равных давлений от времени. Проведено сравнение теоретических распределений температур по высоте экспериментального объема, полученных с учетом и без учета неоднородного распределения температур, с экспериментальными данными. Экспериментально подтверждено существование двух плоскостей равных давлений на начальной стадии развития пожара. Показано, что для достоверного обоснования времени срабатывания пожарных температурных извещателей необходимо учитывать неоднородность температурного поля по высоте помещения.

Ключевые слова: пожар; термогазодинамика; плоскость равных давлений; распределение температур; тепломассообмен через проем.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.24-31

Введение

Тепломассообмен через открытые проемы является одним из наиболее значимых факторов термогазодинамической картины пожара, определяющих динамику развития опасных факторов пожара в помещении [1–21].

Под воздействием перепада давлений внутри и снаружи помещения происходит естественный газообмен через проемы. На распределение давления внутри помещения по его высоте и, следовательно, на высоту расположения плоскости равных давлений (или нейтральной плоскости), а также на массовые расходы газов, выходящих через проемы наружу, и воздуха, поступающего в помещение, решающее влияние оказывает неоднородность температурного поля по высоте помещения.

В первом приближении в интегральной модели расчета динамики развития опасных факторов пожара температура по высоте помещения принимается постоянной и равной ее среднеобъемному значению [1]. Однако в работах [2–4] показано, что температура существенно изменяется по высоте, а распределение давлений по высоте внутри помещения не является линейным, как принято в работе [1].

Цель настоящей статьи — экспериментальная и теоретическая оценка влияния неоднородного распределения температур по высоте помещения на высоту расположения нейтральной плоскости.

Для достижения цели были проведены теоретические и экспериментальные исследования распределения температур по высоте, а также определения положения плоскости равных давлений на начальной стадии развития пожара.

© Пузач С. В., Ситников И. В., Лебедченко О. С., Комраков П. В., До Тхань Тунг, 2018

Распределение температур по высоте помещения при пожаре

В работе [1] выражение распределения температур по высоте помещения имеет вид:

$$\frac{T}{T_{\text{ср}}} = \frac{T_0}{T_{\text{ср}}} + \frac{T_{\text{ср}} - T_0}{T_{\text{ср}}} \frac{z}{2h} \exp\left(1,4 \frac{z}{2h}\right), \quad (1)$$

где T — локальная температура на высоте z от уровня пола помещения, К;

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

T_0 — начальная температура в помещении, К;

h — половина высоты помещения, м.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что распределение температур по высоте помещения во многих случаях можно аппроксимировать следующей зависимостью [3]:

$$T = \frac{T_{\text{ср}}}{1 + a(1 - z/h)}, \quad (2)$$

где a — экспериментальный безразмерный коэффициент, учитывающий неоднородное распределение температур по высоте.

Высота расположения плоскости равных давлений [3] определяется как:

$$\bar{z}_{\text{нп}} = \frac{\rho_{\text{ср}}(1+a) - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{ср}}a} \pm \frac{1}{a} \left\{ \left(\frac{\rho_{\text{ср}}(1+a) - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{ср}}} \right)^2 - \right. \\ \left. - 2a \left[\frac{p_{\text{ср}} - p_{\text{в}} - \frac{\rho_{\text{ср}}gah}{6} - \rho_{\text{в}}gh}{\rho_{\text{ср}}gh} \right] + \frac{2+a}{2} \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

где $\bar{z}_{\text{нп}}$ — безразмерная высота нейтральной плоскости; $\bar{z}_{\text{нп}} = z_{\text{нп}}/h$;

$z_{\text{нп}}$ — высота нейтральной плоскости, м;

$\rho_{\text{ср}}$ — среднеобъемная плотность газовой среды помещения, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность наружного воздуха, кг/м³;

$p_{\text{ср}}$ — среднеобъемное давление в газовой среде помещения, Па;

$p_{\text{в}}$ — давление атмосферного воздуха на высоте, равной половине высоты помещения, Па;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Из формулы (3) видно, что в помещении могут существовать две нейтральных плоскости. Например, в частном случае, когда $\rho_{\text{ср}} = 1 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $p_{\text{ср}} - p_{\text{в}} = 3,2 \text{ Па}$, $h = 3 \text{ м}$, $a = 0,3$, две плоскости равных давлений расположены на высоте $z_{\text{нп1}} = 0,9 \text{ м}$ и $z_{\text{нп2}} = 2,1 \text{ м}$.

Это подтверждается расчетами с использованием полевой трехмерной модели расчета тепломассообмена при пожаре [2, 22], в которых показан случай возникновения двух плоскостей равных

$z, \text{ м} / z, \text{ м}$

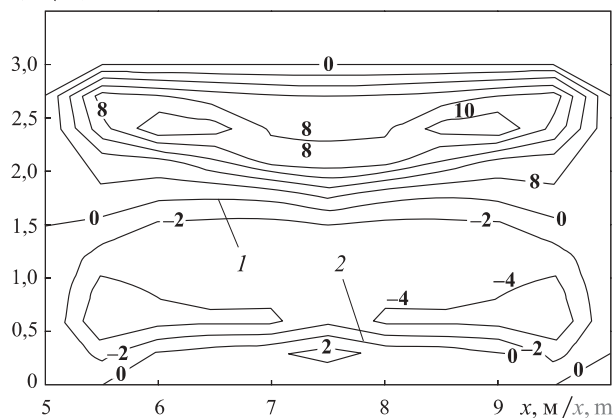


Рис. 1. Поля скоростей в плоскости проема, расположенного в нижней части помещения размером 35×15×6 м, через 30 с от начала горения керосина: 1 — верхняя плоскость равных давлений; 2 — то же, нижняя; x — координата вдоль длины помещения

Fig. 1. The velocity fields in the plane of the opening located in the lower part of the premise with a size of 35×15×6 m after 30 sec from the start of kerosene combustion: 1 — the upper plane of equal pressures; 2 — the same, lower; x — coordinate along the length of the room

давлений в дверном проеме помещения размерами 35×15×6 м через 30 с от начала горения керосина (рис. 1 [2, 22]).

Из рис. 1 видно, что существуют две поверхности, где скорости равны нулю. Вблизи уровня пола образуется зона течения газов наружу.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Эксперименты проводились на двух опытных установках. Схема установки № 1 представлена на рис. 2.

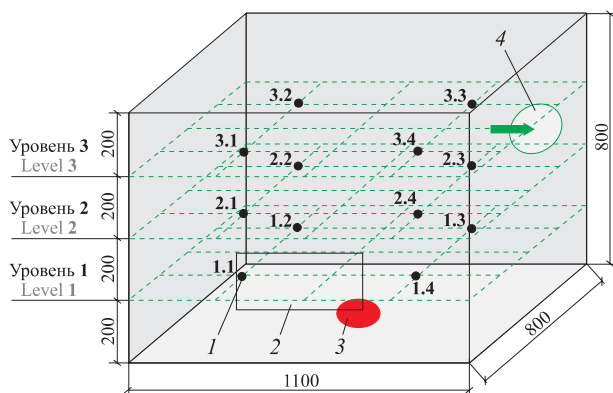


Рис. 2. Схема экспериментальной установки № 1: 1 — датчик температуры; 2 — отверстие для естественного притока воздуха; 3 — лабораторная чашка из алюминия (поддон); 4 — дымоприемное отверстие

Fig. 2. Scheme of the experimental installation no. 1: 1 — temperature sensor; 2 — hole for natural air inflow; 3 — laboratory cup made of aluminum (pallet); 4 — smoke inlet

В качестве материала стен использовался стекломагниевый лист толщиной 10 мм.

Размеры экспериментального объема составляли 1×0,8×0,8 м, отверстия для естественного притока воздуха — 0,4×0,18 м.

В качестве горючего вещества использовался этиловый спирт, которым заполняли лабораторную чашку из алюминия (поддон) диаметром 0,09 м, установленную на дополнительной платформе в центре установки.

Смесь продуктов горения и воздух удалялись системой противодымной вентиляции через дымоприемное отверстие. Система вытяжной противодымной вентиляции представляла собой радиальный вентилятор мощностью 216 Вт, подсоединенный к установке с помощью гофрированной трубы диаметром 0,1 м. Скорость потока газовой среды регулировалась посредством высокоточного частотного преобразователя фирмы Lenze, подключенного через электрическую сеть к вентилятору.

Для контроля температуры газовой среды внутри экспериментальной модели помещения использовался многоканальный измеритель температуры ТМ-12М с высоким (II) классом точности. Измерение температуры проводилось с помощью 12 термопар, расположенных в центре условных равновеликих объемов физической модели на трех уровнях от пола установки (0,2; 0,4 и 0,6 м). Датчики крепились на медную проволоку, натянутую между гра-

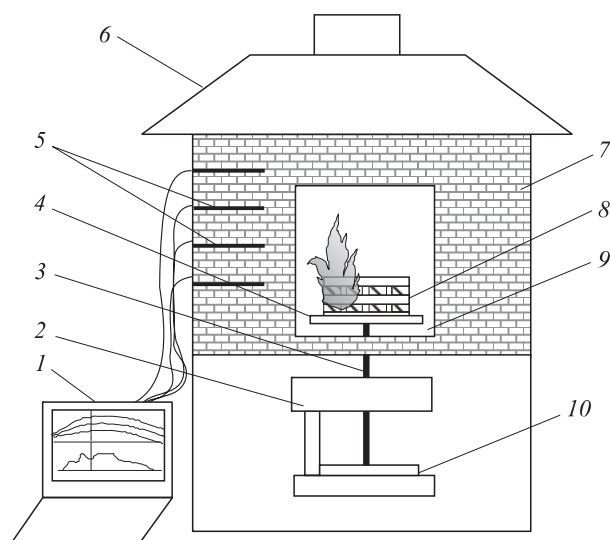


Рис. 3. Схема экспериментальной установки № 2: 1 — компьютер; 2 — электронные весы; 3 — штот; 4 — поддон; 5 — термопары; 6 — зонт системы вентиляции; 7 — макет помещения; 8 — штатель; 9 — открытый проем; 10 — платформа весов

Fig. 3. Scheme of the experimental installation no. 2: 1 — computer; 2 — electronic scales; 3 — stock; 4 — pallet; 5 — thermocouples; 6 — umbrella of the ventilation system; 7 — model of the premise; 8 — stack; 9 — opening; 10 — weighing platform

нями модели. Временной интервал результатов измерения составлял 5 с.

Схема экспериментальной установки № 2 приведена на рис. 3.

В качестве горючего вещества использовалась древесина (сосна), которая закладывалась в поддон 4.

Из-за недостаточного количества термопар внутри экспериментального объема на данной установке измеряли только положение плоскости равных давлений. Для этого по центру открытого проема 9 через каждые 20 с испытаний в вертикальном направлении поднималась горящая свеча. По отклонению пламени с помощью видеосъемки находили высоту расположения плоскостей равных давлений.

Результаты экспериментального исследования

Распределения относительных, средних по каждому уровню значений температур по высоте экспериментальной установки № 1 в моменты времени 60, 90, 120, 150, 180 и 240 с от начала горения представлены на рис. 4.

Среднеобъемная температура t_{cp} в момент времени $\tau = 60$ с составляла 36,9 °С, при $\tau = 240$ с — 57,8 °С.

Из рис. 4 видно, что расчет по формуле (2) при коэффициенте $a = 0,1$ (кривая 1) совпадает с экспериментальными данными с погрешностью, не превышающей 3 %.

Погрешность расчета с использованием формулы (1) по сравнению с результатами, полученными

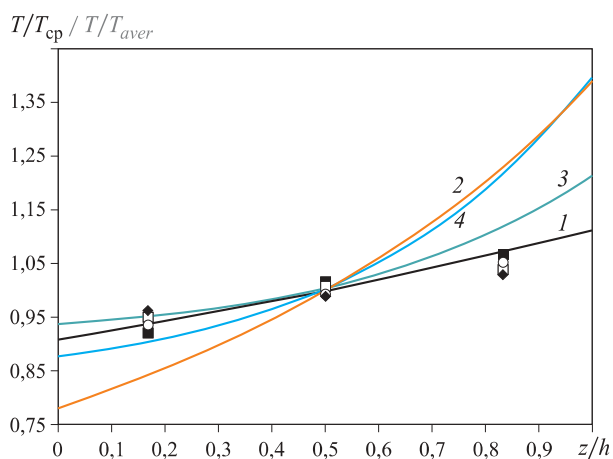


Рис. 4. Распределение средних по каждому уровню значений температур по высоте экспериментальной установки № 2, определяемых по формуле (1) (1 — $a = 0,1$; 2 — $a = 0,28$), по формуле (2) (3 — $\tau = 60$ с; 4 — $\tau = 240$ с); символы — эксперимент

Fig. 4. Distribution of the mean values temperatures for each level of measurements along the height of the experimental installation no. 2, determined by the formula (1) (1 — $a = 0,1$; 2 — $a = 0,28$), by the formula (2) (3 — $\tau = 60$ sec, 4 — $\tau = 240$ sec); symbols — experiment

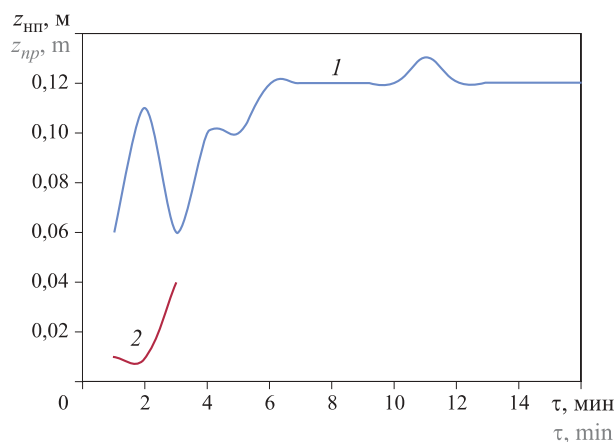


Рис. 5. Зависимость высоты расположения плоскости равных давлений от времени с начала горения: 1 — верхняя плоскость равных давлений; 2 — то же, нижняя

Fig. 5. Dependence of the height of the arrangement of the equal pressures plane on the time from the start of burning: 1 — upper plane of equal pressures; 2 — the same, lower

по формуле (2), на уровне перекрытия помещения не превышает 10 % при $\tau = 60$ с и 26 % — при $\tau = 240$ с. Отсюда видно, что с течением времени развития пожара точность формулы (1) снижается.

Таким образом, используемая в работе [1] и в нормативных документах по пожарной безопасности (например, в Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [23]) формула (1) требует корректировки. Погрешность, которая может достигать 26 % на уровне перекрытия помещения, не позволяет достоверно обосновать время срабатывания пожарных температурных извещателей. При этом

расчетное время срабатывания вышеуказанных извещателей будет занижаться, что приведет к недооценке пожарной опасности, например к занижению времени начала эвакуации или включения систем пожарной безопасности.

Зависимости высоты расположения плоскостей равных давлений от времени испытаний в экспериментальной установке № 2 приведены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что на начальной стадии развития пожара существуют две нейтральные плоскости. Через 3 мин от начала горения нижняя плоскость равных давлений исчезает.

Это объясняется тем, что с ростом температуры и давления внутри экспериментального объема величина второго слагаемого (выражение внутри квадратного корня) правой части уравнения (3) возрастает. Поэтому высота расположения нижней нейтральной плоскости, вычисляемая при знаке “—” перед вторым слагаемым, уменьшается и становится отрицательной (ниже уровня пола помещения).

Закключение

Распределение температуры по высоте помещения, учитывающее неоднородность температурного поля и существенно влияющее на теплообмен через открытый проем газовой среды помещения с окружающей средой, удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными.

Вышеуказанная зависимость позволяет обосновать одновременное существование двух плоскостей равных давлений, что экспериментально подтверждено для начальной стадии развития пожара в опытной установке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 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. Астапенко В. М., Кошмаров Ю. А., Молчадский И. С., Шевляков А. Н. Термогазодинамика пожаров в помещениях. — М. : Стройиздат, 1988. — 448 с.
4. Puzach S. V., Puzach V. G., Kazennov V. M. Certain regularities of heat and mass transfer through an open aperture in a fire in the compartment // Heat Transfer Research. — 2005. — Vol. 36, No. 7. — P. 615–622. DOI: 10.1615/heattransres.v36.i7.70.
5. Chung Hwei Su, Jia Hong Bai. Measurement of the neutral plane of an internal fire whirl using the background-oriented Schlieren technique for a vertical shaft model of a high-rise building // Measurement. — 2016. — Vol. 78. — P. 151–167. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.10.004.
6. Dahai Qi, Liangzhu Wang, Radu Zmeureanu. The effects of non-uniform temperature distribution on neutral plane level in non-adiabatic high-rise shafts during fires // Fire Technology. — 2017. — Vol. 53, Issue 1. — P. 153–172. DOI: 10.1007/s10694-015-0554-2.
7. 130 highrise building projects in Toronto lead North America // CBC News. — January 21, 2014. URL: <http://www.cbc.ca/news/business/130-highrise-building-projects-in-toronto-lead-north-america-1.2504776> (дата обращения: 27.06.2018).

8. Zhao G., Wang L. Using helium smoke as a surrogate of fire smoke for the study of atrium smoke filling // Journal of Fire Science. — 2014. — Vol. 32, Issue 5. — P. 431–447. DOI: 10.1177/0734904114529403.
9. Li L. J., Ji J., Shi W. X., Gao Z. H., Sun J. H., Zhu J. P. A modified turbulent mixing model with the consideration of heat transfer between hot buoyant plume and sidewalls in a closed stairwell // International Journal of Heat Mass Transfer. — 2015. — Vol. 84. — P. 521–528. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.012.
10. Qi D., Wang L., Zmeureanu R. An analytical model of heat and mass transfer through non-adiabatic high-rise shafts during fires // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2014. — Vol. 72. — P. 585–594. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.01.042.
11. Qi D., Wang L. L., Zmeureanu R. Verification of a multizone airflow and energy network model by analytical solutions to Stack-driven flows in buildings // eSIM Conference Proceedings (Ottawa, Canada). — 2014. — 14 p. URL: <http://www.ibpsa.org/proceedings/eSimPapers/2014/1A.1.pdf> (дата обращения: 27.06.2018).
12. Li L. J., Ji J., Fan C. G., Sun J. H., Yuan X. Y., Shi W. X. Experimental investigation on the characteristics of buoyant plume movement in a stairwell with multiple openings // Energy Buildings. — 2014. — Vol. 68. — P. 108–120. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.09.028.
13. Wang L. L., Black W. Z., Zhao G. Comparison of simulation programs for airflow and smoke movement during high-rise fires // ASHRAE Transactions. — 2013. — Vol. 119. — Part 2. — P. 157–168.
14. Klotz J. H., Milke J. A., Turnbull P. G., Kashef A., Ferreira M. J. Handbook of smoke control engineering. — Atlanta, GA : American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. — 512 p.
15. Shi W. X., Ji J., Sun J. H., Lo S. M., Li L. J., Yuan X. Y. Influence of staircase ventilation state on the airflow and heat transfer of the heated room on the middle floor of high rise building // Applied Energy. — 2014. — Vol. 119. — P. 173–180. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.12.055.
16. Ji J., Li L. J., Shi W. X., Fan C. G., Sun J. H. Experimental investigation on the rising characteristics of the fire-induced buoyant plume in stairwells // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2013. — Vol. 64. — P. 193–201. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.04.030.
17. Ji J., Wan H., Li Y., Li K., Sun J. Influence of relative location of two openings on fire and smoke behaviors in stairwell with a compartment // International Journal of Thermal Sciences. — 2015. — Vol. 89. — P. 23–33. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.10.008.
18. Ji J., Li M., Li Y., Zhu J., Sun J. Transport characteristics of thermal plume driven by turbulent mixing in stairwell // International Journal of Thermal Sciences. — 2015. — Vol. 89. — P. 264–271. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.11.009.
19. Yang D., Du T., Peng S., Li B. A model for analysis of convection induced by stack effect in a shaft with warm airflow expelled from adjacent space // Energy and Buildings. — 2013. — Vol. 62. — P. 107–115. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.02.045.
20. Ji J., Li M., Gao Z. H., Li Y. F., Shi W. X., Sun J. H. Experimental investigation of combustion characteristics under different ventilation conditions in a compartment connected to a stairwell // Applied Thermal Engineering. — 2016. — Vol. 101. — P. 390–401. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.117.
21. Ситников И. В., Колодяжский С. А., Однолько А. А. Экспериментальное исследование и моделирование динамики удельной массовой скорости выгорания жидкости в условиях функционирования противодымной вентиляции // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2014. — Т. 35, № 3. — С. 149–157.
22. Пузач С. В., Пузач В. Г. Некоторые трехмерные эффекты тепломассообмена при пожаре в помещении // Инженерно-физический журнал. — 2001. — Т. 74, № 1. — С. 35–40.
23. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382; введ. 30.06.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 45 с.

Материал поступил в редакцию 7 июля 2018 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Ситников И. В., Лебедченко О. С., Комраков П. В., До Тхань Тунг. Влияние неоднородного распределения температур по высоте помещения на высоту плоскости равных давлений при пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 24–31. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.24-31.

INFLUENCE OF HETEROGENEOUS TEMPERATURE DISTRIBUTION ALONG THE PREMISE HEIGHT ON THE HEIGHT OF A PLANE OF EQUAL PRESSURES DURING FIRE

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

SITNIKOV I. V., Senior Lecturer of Technospheric and Fire Safety Department, Voronezh State Technical University (Voronezh, 394006, Russian Federation, Moscow Avenue, 14; e-mail: igorsitnikov.vrn@gmail.com)

LEBEDCHENKO O. S., Candidate of Legal Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ol-26@mail.ru)

KOMRAKOV P. V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Combustion Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

DO THANH TUNG, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Vietnam Fire and Rescue Police Department, Ministry of Public Security (Dinh St., 2A, Hanoi, 100000, Vietnam; e-mail: dotung1288@gmail.com)

ABSTRACT

Introduction. Heat and mass transfer through open holes is influenced significantly by the temperature distribution over the height of the premise. In the first approximation in the integral model of calculating the dynamics of dangerous fire factors, the temperature along the height of the premise is assumed to be constant and equal to its average volume value. However, the temperature varies significantly along height, and the distribution of pressures along the height inside the premise is not linear. Therefore, it is necessary to conduct further experimental and theoretical studies of the influence of the inhomogeneity of the temperature field inside the premise on the parameters of heat and mass transfer through the openings.

Goals and objectives. The purpose of the paper is to evaluate experimentally and theoretically the influence of the inhomogeneity of the temperature distribution along the height of the premise upon the height of the neutral plane. To achieve this, we used the formula for the temperature distribution along the altitude, which includes the empirical coefficient of the inhomogeneity of the temperature field. Experimental studies were carried out that made it possible to refine the above-mentioned coefficient and determine the position of the plane of equal pressures at the initial stage of the fire.

Methods. A theoretical method for calculating the temperature distribution over the height of the premise and the height of the neutral plane is used, as well as an experimental method for studying heat and mass transfer in a small experimental installation.

Results. Experimental dependences of the temperature distribution along the height of the experimental volume at different times and the height of the plane of equal pressures on time are obtained. A comparison is made between experimental data and the theoretical temperature distributions along the height obtained with and without allowance for temperature inhomogeneity. The existence of two planes of equal pressures at the initial stage of the fire is experimentally confirmed. It is shown that for a reliable justification of the response time of fire temperature detectors it is necessary to take into account the inhomogeneity of temperature along the height of the premise.

Conclusion. The temperature distribution along the height of the premise, taking into account the inhomogeneity of the temperature field, is in satisfactory agreement with the experimental data. The above dependence allows us to justify the simultaneous existence of two planes of equal pressures, which has been experimentally confirmed for the initial stage of a fire in a pilot installation.

Keywords: fire; thermal and gas dynamics; plane of equal pressure; temperatures distribution; heat and mass transfer through an open holes.

REFERENCES

1. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [The prediction of dangerous fire factors in the room]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 2000. 118 p. (in Russian).
2. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezопасnosti* [Methods for calculating heat and mass transfer during a fire at the premises and their application in solving practical fire and explosion safety problems]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p. (in Russian).
3. Astapenko V. M., Koshmarov Yu. A., Molchadskiy I. S., Shevlyakov A. N. *Termogazodinamika pozharov v pomeshcheniyakh* [Thermogasdynamics of fires in buildings]. Moscow, Stroizdat Publ., 1988. 448 p. (in Russian).
4. Puzach S. V., Puzach V. G., Kazennov V. M. Certain regularities of heat and mass transfer through an open aperture in a fire in the compartment. *Heat Transfer Research*, 2005, vol. 36, no. 7, pp. 615–622. DOI: 10.1615/heattransres.v36.i7.70.
5. Chung Hwei Su, Jia Hong Bai. Measurement of the neutral plane of an internal fire whirl using the background-oriented Schlieren technique for a vertical shaft model of a high-rise building. *Measurement*, 2016, vol. 78, pp. 151–167. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.10.004.
6. Dahai Qi, Liangzhu Wang, Radu Zmeureanu. The effects of non-uniform temperature distribution on neutral plane level in non-adiabatic high-rise shafts during fires. *Fire Technology*, 2017, vol. 53, issue 1, pp. 153–172. DOI: 10.1007/s10694-015-0554-2.
7. 130 highrise building projects in Toronto lead North America. *CBC News*, January 21, 2014. Available at: <http://www.cbc.ca/news/business/130-highrise-building-projects-in-toronto-lead-north-america-1.2504776> (Accessed 27 June 2018).
8. Zhao G., Wang L. Using helium smoke as a surrogate of fire smoke for the study of atrium smoke filling. *Journal of Fire Science*, 2014, vol. 32, issue 5, pp. 431–447. DOI: 10.1177/0734904114529403.
9. Li L. J., Ji J., Shi W. X., Gao Z. H., Sun J. H., Zhu J. P. A modified turbulent mixing model with the consideration of heat transfer between hot buoyant plume and sidewalls in a closed stairwell. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 2015, vol. 84, pp. 521–528. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.012.
10. Qi D., Wang L., Zmeureanu R. An analytical model of heat and mass transfer through non-adiabatic high-rise shafts during fires. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2014, vol. 72, pp. 585–594. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.01.042.
11. Qi D., Wang L. L., Zmeureanu R. Verification of a multizone airflow and energy network model by analytical solutions to Stack-driven flows in buildings. In: *eSIM Conference Proceedings (Ottawa, Canada)*, 2014, 14 p. Available at: <http://www.ibpsa.org/proceedings/eSimPapers/2014/1A.1.pdf> (Accessed 27 June 2018).
12. Li L. J., Ji J., Fan C. G., Sun J. H., Yuan X. Y., Shi W. X. Experimental investigation on the characteristics of buoyant plume movement in a stairwell with multiple openings. *Energy Buildings*, 2014, vol. 68, pp. 108–120. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.09.028.
13. Wang L. L., Black W. Z., Zhao G. Comparison of simulation programs for airflow and smoke movement during high-rise fires. *ASHRAE Transactions*, 2013, vol. 119, part 2, pp. 157–168.
14. Klotz J. H., Milke J. A., Turnbull P. G., Kashef A., Ferreira M. J. *Handbook of smoke control engineering*. Atlanta, GA, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. 512 p.
15. Shi W. X., Ji J., Sun J. H., Lo S. M., Li L. J., Yuan X. Y. Influence of staircase ventilation state on the airflow and heat transfer of the heated room on the middle floor of high rise building. *Applied Energy*, 2014, vol. 119, pp. 173–180. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.12.055.
16. Ji J., Li L. J., Shi W. X., Fan C. G., Sun J. H. Experimental investigation on the rising characteristics of the fire-induced buoyant plume in stairwells. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 64, pp. 193–201. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.04.030.
17. Ji J., Wan H., Li Y., Li K., Sun J. Influence of relative location of two openings on fire and smoke behaviors in stairwell with a compartment. *International Journal of Thermal Sciences*, 2015, vol. 89, pp. 23–33. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.10.008.
18. Ji J., Li M., Li Y., Zhu J., Sun J. Transport characteristics of thermal plume driven by turbulent mixing in stairwell. *International Journal of Thermal Sciences*, 2015, vol. 89, pp. 264–271. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.11.009.

19. Yang D., Du T., Peng S., Li B. A model for analysis of convection induced by stack effect in a shaft with warm airflow expelled from adjacent space. *Energy and Buildings*, 2013, vol. 62, pp. 107–115. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.02.045.
20. Ji J., Li M., Gao Z. H., Li Y. F., Shi W. X., Sun J. H. Experimental investigation of combustion characteristics under different ventilation conditions in a compartment connected to a stairwell. *Applied Thermal Engineering*, 2016, vol. 101, pp. 390–401. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.117.
21. Sitnikov I. V., Kolodyazhnyj S. A., Odnol'ko A. A. Experimental study and modeling of specific mass burning rate of liquid with functioning smoke ventilation. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura / Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2014, vol. 35, no. 3, pp. 149–157 (in Russian).
22. Puzach S. V., Puzach V. G. Some three-dimensional effects of heat and mass transfer in a fire within a building. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2001, vol. 74, no. 1, pp. 47–55.
23. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009.

For citation: Puzach S. V., Sitnikov I. V., Lebedchenko O. S., Komrakov P. V., Do Thanh Tung. Influence of heterogeneous temperature distribution along the premise height on the height of a plane of equal pressures during fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7–8, pp. 24–31 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.24-31.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".

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

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

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

Н. И. КОНСТАНТИНОВА, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: firelab_vniipo@mail.ru)

Н. В. СМЕРНОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: firelab_vniipo@mail.ru)

А. Ю. ШЕБЕКО, канд. техн. наук, начальник отдела пожарной безопасности строительных материалов, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

УДК 614.841

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены основные требования, регламентирующие пожаробезопасное использование пластмасс в строительстве, промышленности и на транспорте. Рассмотрены вопросы методологии оценки эффективности огнезащиты полимерных материалов (ПМ) согласно существующей нормативно-технической базе. Показано, что в зависимости от области применения и функционального назначения к ПМ предъявляются разные требования по эффективности огнезащиты. Установлено, что, используя сравнительную информацию о процессах деструкции и терморазложении ПМ в присутствии различных замедлителей горения и об их устойчивости к огневому воздействию, на этапе лабораторных исследований можно с достаточно большой вероятностью прогнозировать поведение полимерной композиции в условиях проведения стандартных испытаний. Представлены результаты экспериментальных исследований по разработке полимеров пониженной горючести. Выявлено, что весьма актуально проведение исследования возможности корреляции параметров горючести с использованием маломасштабных и крупномасштабных методов испытаний при разработке композиций пониженной пожарной опасности. Сформулированы выводы о целесообразности разработки комплексного подхода к оценке свойств пожарной опасности огнезащищенных полимеров на лабораторном этапе их создания.

Ключевые слова: нормативная база; пожаробезопасное применение пластмасс; полимерные материалы; методы оценки пожарной опасности; эффективность огнезащиты.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42

Введение

Развитие производства полимерных материалов (ПМ) и их достаточно широкое применение в различных отраслях строительства, промышленного производства, на транспорте выдвигают задачи разработки и создания материалов пониженной пожарной опасности и материалов с заранее заданными пожароопасными свойствами в ряд приоритетных.

Существующая нормативная база пожаробезопасного применения ПМ в России и за рубежом основывается на области их использования и функциональном назначении. Выбор методов оценки и параметры пожарной опасности ПМ зависят от требований нормативных документов, регламентирующих их применение [1].

Следует отметить, что различные условия проведения испытаний и классификационные критерии в действующих стандартных методах оценки пожарной опасности ПМ в зависимости от области их

использования устанавливают возможность обеспечения различной степени их эффективной огнезащиты [2].

В настоящей статье предложен оптимальный с точки зрения выбора методов и определяемых показателей подход к оценке пожарной опасности ПМ пониженной горючести за счет введения в их рецептуры замедлителей горения (ЗГ). Для обоснования постановки задач была учтена номенклатура действующих методов испытаний, характерные эксплуатационные особенности отдельных видов ПМ. К основным решаемым задачам в работе следует отнести анализ пригодности экспериментальных методик, оценку пожарной опасности полимерных композиций, изучение механизма действия инертных наполнителей (на примере алюминиевых композитных панелей фасадных систем) и замедлителей горения (на примере материалов на основе ПВХ).

Методологическая база оценки пожарной опасности ПМ

Классификация строительных, текстильных, кожаных материалов, а также строительных конструкций по пожарной опасности установлена Федеральным законом № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ № 123). Основными свойствами пожарной опасности, например, для строительных материалов являются группы воспламеняемости, горючести, распространения пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность продуктов горения, определяемые по ГОСТ 30402–95, ГОСТ 30244–94, ГОСТ Р 51032–95, ГОСТ 12.1.044–89.

Некоторые требования пожарной безопасности, предъявляемые к полимерным материалам для отделки, в том числе текстильным, не вошедшие в ФЗ № 123, отражены в нормативных документах по пожарной безопасности. В частности, в СП 4.13130 изложены требования по горючести и токсичности продуктов горения к материалам для сидений на трибунах спортивных сооружений и в зальных помещениях культурно-зрелищных объектов.

Основные требования пожарной безопасности, предъявляемые к ПМ для вагонов железной дороги и метрополитена, сформулированы в Техническом регламенте Таможенного союза (ТР ТС) “О безопасности железнодорожного подвижного состава” (ТР ТС-001–2011), ГОСТ Р 54893–2012, ГОСТ Р 55183–2012, НПБ 109 и основываются на результатах комплексной оценки материалов по группе горючести, коэффициенту дымообразования, индексу распространения пламени и токсичности продуктов горения. Следует отметить, что метод испытаний по определению горючести материалов и их классификация устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.3) и в значительной степени отличаются от определения параметров горючести строительных материалов по ГОСТ 30244–94 (метод 2), поэтому на объектах строительства и в вагоностроении могут применяться полимерные материалы, различающиеся по степени огнестойкости.

Материалы, применяемые на морских судах, должны соответствовать требованиям, изложенным в Международном кодексе по применению процедур испытания на огнестойкость 2010 г. (Кодекс ПИО 2010, резолюция MSC.307(88) ИМО)¹, и быть устойчивыми к воспламенению и распространению пламени по поверхности.

Пожарная опасность материалов в зависимости от их функционального назначения (отделка и облицовка, напольные покрытия, шторы, обивка мяг-

кой мебели, постельные принадлежности) оценивается соответствующими международными методиками испытаний (части 1, 2, 5, 7–9 Кодекса ПИО 2010), испытательное оборудование и определяемые параметры которых существенно отличаются от действующих отечественных стандартных методов оценки пожарной опасности указанных материалов.

Пожарная опасность отделочных материалов и покрытий, применяемых на судах внутреннего плавания, регламентирована Правилами Российского речного регистра (т. 2, ч. X) по таким критериям, как распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность продуктов горения, которые определяются по методикам ГОСТ 12.1.044–89.

Нормативные требования к испытаниям, например, материалов отделки интерьера автотранспортных средств основаны на определении скорости горения и изложены в ГОСТ 25076–81.

Материалы для специальной рабочей одежды, подверженной термическим рискам, проходят испытания в соответствии с требованиями ТР ТС 019/2011 “О безопасности средств защитной одежды”.

Таким образом, существующая методологическая база оценки пожарной опасности ПМ существенно зависит от области их использования и функционального назначения. Это обуславливает различные подходы к оценке их пожарной опасности и, следовательно, требует при разработке огнестойких композиций ПМ это обстоятельство учитывать.

Материалы и методы

Актуальной задачей при создании материалов пониженной горючести является обоснованный выбор прогнозных маломасштабных методов исследования свойств пожарной опасности ПМ и критериев, которые будут коррелировать или соответствовать стандартным критериям и требованиям, обеспечивающим безопасное применение ПМ в той или иной сфере.

При исследованиях по выбору замедлителей горения для ПМ можно получать информацию об их эффективности при изучении термического разложения, например при проведении термического анализа по ГОСТ Р 53293, с помощью качественных и значимых идентификационных характеристик [3].

Получая данные по параметрам, характеризующим процессы термодеструкции и термоокисления ПМ в присутствии ЗГ (в частности, по интервалам температур, в которых протекают указанные процессы, по тепловым эффектам, которыми они сопровождаются), можно оценить степень влияния ЗГ на данные процессы в газовой и конденсированной фазах [4].

¹ International Code for Application of Fire Test Procedures, 2010 (2010 FTR Code, IMO resolution MSC.307(88)).

К значимым идентификационным термоаналитическим характеристикам относятся: температуры при фиксированных потерях массы, температуры при максимумах скорости потери массы; скорость потери массы; коксовый остаток, который определяется по окончании процесса пиролиза в инертной атмосфере или при фиксированной температуре; зольный остаток, который определяется по окончании процесса термоокисления при фиксированной температуре; температура плавления и соответствующие тепловые эффекты, которые могут использоваться для сравнения эффективности действия ЗГ, используемого в ПМ.

Результаты и их обсуждение

Интересны результаты исследований по разработке полимеров пониженной горючести, используемых в качестве внутреннего слоя алюмокомпозитных панелей (АКП), применяемых в строительстве, в частности в навесных фасадных системах с воздушным зазором. Для снижения горючести такого рода материалов проводят наполнение полимерной матрицы на основе смеси полиэтилена и сополимеров этилена компонентами, в состав которых входят замедлители горения различного типа, в том числе разработанные и апробированные в последние годы [5–10]. Разработка рецептур подобного рода материалов является достаточно сложной и многокомпонентной задачей, которая должна учитывать технологическую совместимость композита с конкретным производственным оборудованием, а также стоимость, качество и доступность входящих в его состав компонентов. Именно поэтому на стадии разработки оптимальной рецептуры полимерной композиции целесообразно провести обоснованный выбор маломасштабных методов исследования, результаты испытаний по которым позволят прогнозировать поведение материалов, например, при проведении среднемасштабных испытаний по ГОСТ 31251, регламентирующему классификацию фасадных систем зданий и сооружений по пожарной опасности [11].

В результате проведенных исследований [12] было установлено, что оценка таких свойств пожарной опасности композитов, как теплота сгорания по ГОСТ Р 56027–14 и значимые термоаналитические характеристики по ГОСТ Р 53293, с достаточно большой вероятностью позволяют прогнозировать их поведение при огневом воздействии в рамках стандартных методов проведения испытаний. В табл. 1 и 2 представлены результаты сравнительных комплексных экспериментальных исследований показателей пожарной опасности при разработке рецептур полимерного композита пониженной горючести для изготовления АКП.

Таблица 1. Теплота сгорания и термоаналитические характеристики материала внутреннего слоя АКП различной степени огнестойкости

Номер образца	Теплота сгорания, МДж/кг	Скорость потери массы, %/мин (при температуре, °С)	Максимумы экзо- и эндотермических эффектов, °С/мг (при температуре, °С)	Относительное тепловыделение, °С·мин/мг	Коксовый остаток, %
1	2,7	3,0 (441)	0,25 (450)	0,89	68,5
2	8,2	4,3 (498)	0,83 (545)	3,90	48,9
3	15,7	54,9 (439)	0,58 (526)	0,92	1,1

Анализ характеристик термодеструкции, полученных по кривым термического анализа образца внутреннего слоя АКП (см. табл. 1), позволяет выявить тот факт, что образец № 1 является наименее горючим композитным материалом, с малым значением теплоты сгорания (2,7 МДж/кг), с невысокими значениями скорости терморазложения (3,0 %/мин) и интенсивности тепловыделения (до 0,25 °С/мг), но с большим коксовым остатком (до 68 %). Соответственно, для материала, относящегося к классу сильногорючих (группы горючести Г4), характерны высокие значения тепловыделения и скорости терморазложения, а также незначительное количество (1,1 %) коксового остатка.

Несмотря на то что образцы № 1 и № 2 относятся к одной и той же группе горючести (Г1), по значениям теплоты сгорания можно выделить наименее пожароопасный материал.

В табл. 2 приведены результаты обобщения многочисленных экспериментальных и аналитических исследований по оценке величины теплоты сгорания в зависимости от процентного содержания различного типа ЗГ, входящих в состав композитов, и сопоставления их группы горючести с классами пожарной опасности строительных материалов, принятыми в европейском стандарте EN 13501 (часть 1).

Так, образцы типа № 1, имея наполненность композиционной системы полимерного слоя инертными компонентами и антипиренами не менее 80 %, по европейской классификации пожарной опасности строительных отделочных материалов (с тепло-

Таблица 2. Сравнительные данные по пожарной опасности АКП

Номер образца	Содержание инертных компонентов и антипиренов во внутреннем слое, %	Теплота сгорания внутреннего слоя, МДж/кг	Группа горючести по ГОСТ 30244–94 (метод 2)	Класс пожарной опасности по EN 13501
1	Более 85	Менее 3,0	Г1	A2
2	70–80	9,0–3,0	Г1	B
3	Менее 65	Более 15,0	Г4	C

той сгорания внутреннего слоя не более 4 МДж/кг) входят в группу пожаробезопасных материалов класса А2.

Разработчики ЗГ для ПМ для оценки эффекта огнезащиты чаще всего используют наиболее распространенный маломасштабный сравнительный метод оценки кислородного индекса (КИ) (ГОСТ 12.1.044, ISO 4589-2–1996, ASTM D 2863-13, ISO 4589-3–1996, [13–16]). Однако по полученному значению КИ для ПМ пониженной горючести нельзя сделать вывод о соответствии его свойств нормативным требованиям пожаробезопасного применения. Известны работы, где, наряду со стандартными параметрами, приводятся значения КИ, которые могут быть использованы для прогноза группы горючести ПМ, но касаются они весьма ограниченного перечня строительных материалов [17]. В связи с этим в настоящее время проведение работ по исследованию возможности корреляции параметров горючести, полученных маломасштабными и крупномасштабными методами испытаний, при разработке композиций пониженной пожарной опасности представляется весьма актуальным.

В частности, при разработке огнезащищенных полимерных материалов строительного назначения окончательную оценку следует проводить по группе горючести по ГОСТ 30244–94 (метод 2), предусматривающему испытания образцов достаточно больших размеров (1000×190 мм). Из многолетнего опыта экспериментальной работы ВНИИПО были получены данные по корреляции результатов испытаний по методам ГОСТ 12.1.044–89 и ГОСТ 30244–94 (метод 2), которые свидетельствуют о том, что, как правило, группы горючести строительных материалов Г1 и Г2 соответствуют группе трудногорючих по ГОСТ 12.1.044–89.

Таким образом, при проведении исследований по подбору оптимальной рецептуры композитов при оценке их горючести целесообразно использовать в совокупности два метода — метод КИ и метод экспериментального определения группы трудногорючих и горючих веществ и материалов по ГОСТ 12.1.044–89 (соответственно, пп. 4.14 и 4.3).

Были проведены также экспериментальные исследования по определению возможности снижения

горючести пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) за счет применения химически активных антипиренов и наполнителей [18]. При этом важным условием являлось влияние антипирена в процессе переработки полимера на его термостабильность, температуру плавления, качество формирования полимерной матрицы. Поэтому для получения ПВХ-композиции пониженной пожарной опасности с комплексом требуемых свойств потребовалось изготовление достаточно большого количества образцов экспериментальных партий ПВХ-пленки различных рецептур как в лабораторных условиях, так и на промышленном оборудовании.

В табл. 3 приведены экспериментальные данные по параметрам горючести ряда образцов композиций ПВХ, модифицированных в различном соотношении гидроксидом магния и фосфоразотсодержащим комплексным ЗГ.

Представленные в табл. 3 экспериментальные данные указывают на значительное изменение кислородного индекса и параметров горючести, что свидетельствует о снижении пожарной опасности ПВХ-композиции при введении ЗГ. Кроме того, исследования позволили провести сопоставление результатов лабораторных и среднемасштабных методов испытаний и установить ориентировочное значение КИ для прогноза группы горючести разрабатываемых образцов, в данном случае трудногорючей ПВХ-пленки.

С помощью существующих стандартных методов оценки устойчивости к воспламенению от малокалорийных источников зажигания нередко определяют степень огнезащиты полимерных материалов и изделий. Например, для пластмасс используют методы определения стойкости к горению по ГОСТ 28157–89 или UL 94, для тканей — воспламеняемости по ГОСТ Р 53294–09 или ГОСТ Р 50810–96.

Методика ГОСТ Р 56027–14 позволяет установить группу горючих легковозгораемых строительных материалов, в частности выделить группу наиболее пожароопасных СМ, в том числе обладающих способностью к образованию расплава и падению горящих капель. Поэтому при проведении исследований по огнезащите термопластичных полимеров с помощью данного метода можно оценить эффект

Таблица 3. Экспериментальные данные по параметрам горючести огнезащищенных композиций ПВХ

Образец ПВХ-пленки	КИ по ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.14)	Группа горючести по ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.3)			Группа горючести по ГОСТ 30244–94 (метод 2)
		Максимальная температура $T_{\max}$, °C	Потеря массы Δm , %	Время самостоятельного горения τ , с	
Исходный	21,4	465	67	120	Г4
№ 1	28,7	390	54	30	Г4
№ 2	36,2	270	45	–	Г3
№ 3	42,1	240	30	–	Г2

карбонизации материала, исключая процесс падения горящих капель, как было показано, например, в работе [19].

Выводы

При проведении работ по выбору и оптимизации рецептур ПМ в целях достижения их эффективной огнезащиты целесообразно производить выбор лабораторных (маломасштабных) методов исследований и испытаний, результаты которых позволят прогнозировать поведение ПМ при проведении средне- и крупномасштабных испытаний, а также в условиях реального пожара.

При обосновании выбора методики испытаний по оценке горючести (воспламеняемости) модифицированных полимерных систем необходимо учи-

тывать область применения и функциональное назначение материала в комплексе с нормируемыми показателями.

Используя сравнительную информацию о процессах деструкции и термоо разложении ПМ в присутствии различных ЗГ и их устойчивости к огневому воздействию, на этапе лабораторных исследований можно с достаточно большой вероятностью прогнозировать поведение полимерной композиции в условиях проведения стандартных испытаний.

С учетом недостатка соответствующих работ целесообразно продолжить проведение комплексных исследований в целях внедрения новых подходов к оценке свойств пожарной опасности различных огнезащищенных полимеров на лабораторном этапе их создания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Troitzsch J.* Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval. — 3rd ed. — Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. — 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
2. *Смирнов Н. В., Константинова Н. И.* Состояние и перспективы развития нормативной базы пожаробезопасного применения полимерных материалов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2014. — № 1(150). — С. 249–252.
3. *Нагановский Ю. К.* Совершенствование методов идентификации и контроля пожароопасных свойств строительных материалов и средств огнезащиты : дис. ... канд. техн. наук. — Балашиха, 2007. — 215 с.
4. *Beyler C. L., Hirschler M. M.* Thermal decomposition of polymers // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. — 3th ed. — Quincy, Massachusetts : NFPA, 2002. — Ch. 7. — P. 1/110–1/131.
5. *Shibin Nie, Yuan Hu, Lei Song, Shuqing He, Dandan Yang.* Study on a novel and efficient flame retardant synergist-nanoporous nickel phosphates VSB-1 with intumescent flame retardants in polypropylene // Polymers for Advanced Technologies. — 2008. — Vol. 19, Issue 6. — P. 489–495. DOI: 10.1002/pat.1088.
6. *Гончикжапов М. Б., Палецкий А. А., Терещенко А. Г., Шундрин И. К., Куйбида Л. В., Шмаков А. Г., Коробейничев О. П.* Структура пламени сверхвысокомолекулярного полиэтилена в противотоке воздуха // Физика горения и взрыва. — 2016. — Т. 52, № 3. — С. 8–22. DOI: 10.15372/FGV20160302.
7. *Korobeinichev O. P., Paletsky A. A., Kuibida L. V., Gonchikzhapov M. B., Shundrina I. K.* Reduction of flammability of ultrahigh-molecular-weight polyethylene by using triphenyl phosphate additives // Proceedings of the Combustion Institute. — 2013. — Vol. 34, Issue 2. — P. 2699–2706. DOI: 10.1016/j.proci.2012.06.045.
8. *Палецкий А. А., Гончикжапов М. Б., Шундрин И. К., Коробейничев О. П.* Механизм снижения горючести полиэтилена различного молекулярного веса добавками фосфорсодержащих соединений // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8(145). — С. 57–67.
9. *Shuyu Liang, Patrick Hemberger, N. Matthias Neisius, Andras Bodi, Hansjörg Grützmaier, Joelle Levalois-Grützmaier, Sabyasachi Gaan.* Elucidating the thermal decomposition of dimethyl methylphosphonate by vacuum ultraviolet (VUV) photoionization: pathways to the PO radical, a key species in flame-retardant mechanisms // Chemistry — A European Journal. — 2015. — Vol. 21, Issue 3. — P. 1073–1080. DOI: 10.1002/chem.201404271.
10. *Reilly T., Beard A.* Additives used in flame retardant polymer formulations: current practice & trends. Fire retardants and their potential impact on fire fighter health. — Gaithersburg, MD USA : Workshop at NIST, 30 September 2009. URL: <https://www.nist.gov/document-7987> (дата обращения: 20.06.2018).
11. *Хасанов И. Р., Косачев А. А., Гольцов К. Н.* Особенности пожарной опасности навесных фасадных систем с воздушным зазором // СтройПРОФИль. — 2010. — № 3(81). — С. 16–24.
12. *Константинова Н. И., Смирнов Н. В.* К вопросу о пожарной опасности алюмокомпозитных панелей в навесных фасадных системах // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 12. — С. 69–72.

13. Халтуринский Н. А., Рудакова Т. А. Физические аспекты горения полимеров и механизм действия ингибиторов // Химическая физика. — 2008. — Т. 27, № 6. — С. 73–84.
14. Lewin M. Synergism and catalysis in flame retardancy of polymers // Polymers for Advanced Technologies. — 2001. — Vol. 12, No. 3–4. — P. 215–222. DOI: 10.1002/pat.132.
15. Чернова Н. С. Химические превращения и механизм огнезащитного действия вспучивающихся композиций : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2010. — 139 с.
16. Егина Ю. С. Разработка составов и технологии синтеза модифицированных полимерных гелевых слоев для создания пожаробезопасных светопрозрачных многослойных конструкций : дис. ... канд. техн. наук. — Саратов, 2009. — 163 с.
17. Ушков В. А., Сокорева Е. В., Славин А. М., Орлова А. М. Термостойкость и пожарная опасность строительных пенопластов на основе реакционноспособных олигомеров // Строительные материалы. — 2014. — № 11. — С. 28–32.
18. Smirnov N. V., Konstantinova N. I., Gordon E. P., Poedintsev E. A. Reduction of fire hazard in materials for irrigators and water collectors in cooling towers // Power Technology and Engineering. — 2016. — Vol. 50, No. 3. — P. 306–308. DOI: 10.1007/s10749-016-0701-z.
19. Konstantinova N. I., Weber C., Afanaseva G. V., Spitsyn A. B. Evaluation of fire retardant properties of polymeric membrane on the base of polyethylene // Book of Abstracts of the 9th International Seminar on Flame Structure (Novosibirsk, Russia, 10–14 July, 2017). — P. 106. URL: http://kinetics.nsc.ru/kcp/9ISFS/9ISFS_Book_of_abstracts.pdf (дата обращения: 20.06.2018).

Материал поступил в редакцию 2 июля 2018 г.

Для цитирования: Константинова Н. И., Смирнов Н. В., Шебеко А. Ю. К вопросу об оценке эффективности огнезащиты полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 32–42. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42.

English

N. I. KONSTANTINOVA, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: firelab_vniipo@mail.ru)

N. V. SMIRNOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143900, Russian Federation; e-mail: firelab_vniipo@mail.ru)

A. Yu. SHEBEKO, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Fire Safety of Building Materials, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143900, Russian Federation)

UDC 614.841

REVISITING THE ASSESSMENT OF POLYMERIC MATERIALS FIRE PROTECTION EFFICIENCY

The main requirements regulating the fire-safe application of plastics in construction, industry and transport were specified. The issues of the methodology for assessing polymeric materials (PM) fire protection efficiency in compliance with the existing normative and technical base were considered. It was demonstrated that, depending on the field of application and the functional purpose, various requirements are imposed on PMs as related to fire protection efficiency. It was established that, using comparative information on the processes of destruction and thermal decomposition of PMs in the presence of various flame retardants and their resistance to fire effect, it is reasonably likely to predict the behavior of a polymer composition under standard testing conditions. The results of experimental studies on the development of low combustible polymers were presented. The extreme relevance of studying the possibility of correlating the flammability parameters using small-scale and large-scale test methods for the development of the compositions presenting low fire hazards was found. The conclusions on the advisability of developing an integrated approach to the assessment of fire hazard properties of flame-retardant polymers at their laboratory production stage were drawn.

Keywords: normative base; fire-safe application of plastics; polymeric materials; fire hazard assessment methods; fire protection efficiency.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42

Introduction

The development of polymeric materials (PM) production and their broad application in various sectors of construction, industrial production and transport are bringing the tasks of developing and creating materials having reduced fire hazards and the materials with pre-determined fire hazard properties into a line with the prioritized ones.

The existing normative base of fire-safe application of PMs in Russia and abroad relies on their field of use and functional purpose. The assessment methods and fire hazard parameters of PMs selected depend on the requirements of regulatory documents regulating their use [1].

It should be noted that the various test conditions and classification criteria in the current standard methods for assessing the fire hazards of PMs allow the possibility of ensuring various degrees of their fire protection efficiency depending on their field of use [2].

The present paper includes an approach that is optimal in terms of selecting methods and determinable parameters for assessing the fire hazards of low combustible PMs by introducing flame retardants (FR) into their formulations. To validate formulation of tasks, the nomenclature of the effective test methods and indicative operational features of certain types of PMs was taken into account. The analysis of suitability of experimental techniques, the assessment of fire hazards of polymer compositions, the study of mechanism of inert fillers (by the example of aluminum composite panels for front systems) and flame retardants (by the example of the PVC-based materials) should be considered as the main tasks to be solved.

Methodological basis for assessing the fire hazards of PMs

Classification of construction, textile, tanning materials, as well as of building structures for fire hazards, was established by Federal Law No. 123-FZ "Technical Regulations on Fire Safety Requirements" (hereinafter referred to as FZ No. 123). The main properties of fire hazard, e. g. for construction materials (CM), are the groups of flammability, combustibility, surface flame propagation, smoke-generating capacity and combustion products toxicity determined in accordance with GOST 30402–95, GOST 30244–94, GOST R 51032–95 and GOST 12.1.044–89.

Some fire safety requirements for finishing polymeric materials, including the textile ones, not included in FZ No. 123, are reflected in the regulatory documents on fire safety. Particularly, SP 4.13130 sets out the requirements to the materials for seats in the stands of sports facilities and in the halls of cultural and entertainment facilities, in terms of combustibility and toxicity of combustion products.

The main fire safety requirements for PMs for rail-road and subway cars are specified in the Technical Regulations of the Customs Union (TR CU) "On safety of railway rolling stock" (TR CU-001–2011), GOST R 54893–2012, GOST R 55183–2012, NPB 109 and are based on the results of a comprehensive assessment of materials by combustibility group, smoke-generating index, flame propagation index and combustion products toxicity. It should be noted that the test method for determining the combustibility of materials and their classification are established in accordance with GOST 12.1.044–89 (para. 4.3) and significantly deviate in terms of determining the flammability parameters of construction materials as per GOST 30244–94 (method 2). Therefore, polymeric materials varying in the fire resistance degree can be used at construction sites and in car building sector.

Materials used on marine vessels should comply with the requirements set forth in the International Code for Application of Fire Test Procedures as of 2010 (2010 FTP Code, IMO Resolution MSC.307(88))¹, and be resistant to ignition and surface flame propagation.

Fire hazards of materials depending on their functional purpose (finishing and facing, floor coverings, curtains, upholstery, bedding items) is assessed using the relevant international test procedures (parts 1, 2, 5, 7–9 of the 2010 FTP Code), test equipment and determinable parameters of which substantially differ from the existing domestic standard methods for assessing the fire hazards of these materials.

The fire hazard of finishing materials and coatings used on inland waterways vessels is regulated by the Rules of the Russian River Register (Volume 2, Part X), according to the criteria such as surface flame propagation, smoke-generating capacity and combustion products toxicity determined by the methods specified in GOST 12.1.044–89.

Regulatory test requirements, for example, interior finishing materials for motor vehicles are based on determination of burning rate and are set out in GOST 25076–81.

Materials for special working clothes subject to thermal risks are tested in accordance with the requirements of TR CU 019/2011 "On the Safety of Protective Clothing".

Thus, the existing methodological basis for assessing the fire hazards of PMs largely depends on their field of use and functional purpose. This results in different approaches to the assessment of their fire hazards and, therefore, requires considering this fact when developing fireproof PM compositions.

¹ International Code for Application of Fire Test Procedures, 2010 (2010 FTR Code, IMO Resolution MSC.307(88)).

Methods and materials

The actual task when creating low combustible materials is a well-founded choice of predictive small-scale methods for investigating the fire hazard properties of PMs and the criteria that will correlate or meet the standard criteria and the requirements that ensure the safe use of PMs in one field or another.

In the studies on the selection of flame retardants for PMs, the information on their efficiency in terms of the study of thermal decomposition can be obtained, for example, when performing thermal analysis according to GOST R 53293, using qualitative and valuable identification characteristics [3].

When obtaining the data on the parameters characterizing the processes of thermal destruction and thermal oxidation of PMs in the presence of FRs (particularly, over the temperature ranges in which these processes occur, according to the thermal effects by which they are accompanied), it is possible to estimate the degree of influence of FRs on these processes in gaseous and condensed states [4].

Significant identification thermal analytical characteristics include: temperatures at fixed mass losses, temperatures at maximum mass loss rates; mass loss rate; coke residue, which is determined at the end of the pyrolysis process in an inert atmosphere or at a fixed temperature; ash residue, which is determined after the thermal oxidation process at a fixed temperature; melting temperature and corresponding thermal effects, which can be used to compare the effectiveness of an FR used in PMs.

Results and discussion of them

The results of studies on the development of low-flammability polymers used as an internal layer of aluminum composite panels (ACP) applied in construction, particularly in air spaced curtain wall systems are of concern. To reduce the combustibility of such materials, the polymeric matrix is filled on the basis of a mixture of polyethylene and ethylene copolymers with components containing flame retardants of various types, including those developed and tested in recent years [5–10]. The development of formulations for such materials is a quite complex and multicomponent task, which must take into account the technological compatibility of a composite with the specific production equipment, as well as the cost, quality and availability

of its constituents. For this very reason, it is advisable to make a reasonable selection of small-scale research methods at the stage of developing an optimal formulation of the polymer composition, the test results of which will allow predicting the behavior of materials, for example, when carrying out medium-scale tests in accordance with GOST 31251, which regulates the classification of front systems of buildings and structures in terms of fire hazard [11].

As a result of the undertaken studies [12] it was found that the assessment of such fire hazardous properties of a composite as combustion heat in accordance with GOST R 56027–14, and significant thermal analytical characteristics in accordance with GOST R 53293, allow reasonably likely to predict their behavior under fire exposure within the standard methods of testing. Tables 1 and 2 show the results of comparative complex experimental studies of fire hazard indices in the development of formulations of a low combustible polymer composite for ACPs manufacturing.

The analysis of thermal degradation characteristics obtained from the curves of the thermal analysis of a sample of the ACP inner layer (see Table 1) allows to identify the fact that the sample No. 1 is the least combustible composite material having a low heat combustion value (2.7 MJ/kg) with low heat emission values (up to 0.25 °C/mg) and thermal decomposition rate (3.0 %/min) and high coke residue (up to 68 %). Correspondingly, the material classified as highly combustible (combustibility groups G4) is characterized by high heat emission values and thermal decomposition rates, as well as a small amount (1.1 %) of coke residue.

Despite the fact that samples Nos. 1 and 2 refer to the same combustibility group (G1), the least flammable material can be identified by the heat combustion values.

Table 2 shows the summarizing results of numerous experimental and analytical studies on the assessment of heat combustion value, depending on the percentage of various types of FRs contained in composites and the comparison of their combustibility groups with the fire hazard classes of construction materials adopted in the European Standard EN 13501 (Part 1).

Thus, samples of type No. 1, having a polymer layer composition system filled with inert components and flame retardants of at least 80 %, are included into the group of fireproof materials of Class A2 according

Table 1. The combustion heat and thermo analysis characteristics material of internal layer for aluminum composite panels AKP with different level of fireproof

Sample number	Combustion heat, MJ/kg	Mass losses velocity, %/min (for temperature, °C)	Maximum of exo- and endothermal effects, °C/mg (for temperature, °C)	Relational heat emission, °C·min/mg	Coke residuum, %
1	2.7	3.0 (441)	0.25 (450)	0.89	68.5
2	8.2	4.3 (498)	0.83 (545)	3.90	48.9
3	15.7	54.9 (439)	0.58 (526)	0.92	1.1

Table 2. Comparative data of fire hazard for aluminum composite panels (ACP)

Sample number	Content of inert additives and fire-retardant agents in internal layer, %	Combustion heat of internal layer, MJ/kg	Combustibility group, GOST 30244–94 (method 2)	Class of fire hazard, EN 13501
1	More 85	Less 3.0	G1	A2
2	70–80	9.0–3.0	G1	B
3	Less 65	More 15.0	G4	C

to the European Classification of fire hazards of construction finishing materials (with inner layer combustion heat of not more than 4 MJ/kg).

To assess the fire protection effect, developers of FRs for PMs typically use the most common small-scale comparative method for estimating the oxygen index (OI) (GOST 12.1.044, ISO 4589-2-1996, ASTM D 2863-13, ISO 4589-3-1996, [13–16]). However, according to the obtained value of OI for low combustible PMs, it cannot be concluded that its properties correspond to the regulatory requirements for fire-safe application. There are the papers known, which along with standard parameters present OI values that can be used to predict the PM's combustibility group, but they address a very limited list of construction materials [17]. Consequently, now, it seems to be highly relevant to conduct the work on investigation of the possibility of correlating the flammability parameters obtained by small-scale and large-scale test methods in the development of compositions having reduced fire hazard.

In particular, when developing fireproof polymeric materials for construction, the final assessment should be carried out according to the combustibility group in accordance with GOST 30244–94 (Method 2), which provides testing of samples of sufficiently large dimensions (1000×190 mm). Based on many years of experience in the experimental work, Fire Safety Research Institute obtained the data on correlation of test results with the methods of GOST 12.1.044–89 and GOST 30244–94 (Method 2), which indicate that, as a rule, the combustibility groups of construction materials G1, G2 correspond to the group of fire-resistant materials according to GOST 12.1.044–89.

Thus, when carrying out studies on the selection of an optimal composite formulation for the assessment of their combustibility, it is advisable to use two methods collectively — the OI method and the method of experimental determination of the groups of fire-resistant and

combustible substances and materials in accordance with GOST 12.1.044–89 (para. 4.14 and 4.3, respectively).

Experimental studies have also been carried out to determine the possibility of reducing the combustibility of plasticized polyvinyl chloride (PVC) by the use of reactive flame retardants and fillers [18]. An important condition in so doing was the effect of flame retardant in the processing of a polymer on its thermal stability, melting point and the quality of polymeric matrix formation. Therefore, to obtain a PVC composition with a reduced fire hazard and a set of required properties, it was required to produce a fairly large number of samples of experimental batches of PVC film of various formulations, both in laboratory conditions and on industrial equipment.

Table 3 shows experimental data on the flammability parameters of a number of samples of PVC compositions modified in a different ratio by magnesium hydroxide and a phosphorus-nitrogen-containing complex FR.

Experimental data set forth in Table 3 demonstrate a significant change in the oxygen index and flammability parameters, which indicates a decrease in the fire hazard of the PVC composition when FR is introduced. In addition, the studies made it possible to compare the results of laboratory and medium-scale test methods and establish an approximate value of the OI to predict the combustibility group of the samples developed; in this case a fire-resistant PVC film.

Fire resistance rating polymeric materials and products is often determined using the existing standard methods for assessing the resistance to ignition from low-calorie ignition sources. For example, for plastics, methods for determination of the combustion resistance in accordance with GOST 28157–89 or UL 94 are used, and for fabrics, flammability resistance is determined according to GOST R 53294–09 or GOST R 50810–96. A group of combustible highly flammable construction materials is identified using the GOST R 56027–14 method.

Table 3. Experimental data of combustibility fireproof PVC film composition

PVC film sample	OI, GOST 12.1.044–89 (para. 4.14))	Combustibility group, GOST 12.1.044–89 (para. 4.3)			Combustibility group, GOST 30244–94 (method 2)
		Maximal temperature $T_{\max}$, °C	Mass losses Δm , %	Burn time τ , sec	
Base	21.4	465	67	120	G4
No. 1	28.7	390	54	30	G4
No. 2	36.2	270	45	–	G3
No. 3	42.1	240	30	–	G2

The procedure applied in GOST R 56027–14 allows to establish a group of combustible highly flammable construction materials, particularly, to identify a group of the most fire hazardous CMs, including those with the ability to cause a molten mass formation and burning dropping. Therefore, when carrying out studies on the fire protection efficiency of thermoplastic polymers using this method, one can estimate the effect of material carbonization, excluding the burning dropping process, as it was shown, for example, in the paper [19].

Conclusions

When conducting the work on selecting and optimizing PMs' formulations to achieve their effective fire protection, it is advisable to select laboratory (small-scale) research and testing methods, the results of which will

allow to predict the behavior of PMs during medium- and large-scale tests, as well as under real fire conditions.

When justifying the selection of a test procedure for assessing the combustibility (flammability) of modified polymer systems, it is necessary to take into account the scope of application and functional purpose of the material along with the specified parameters.

It is reasonably likely to predict the behavior of a polymer composition under standard testing conditions using comparative information on the processes of destruction and thermal decomposition of PMs in the presence of various FRs and their resistance to fire effect.

Considering the lack of appropriate work, it is advisable to continue carrying out complex studies to introduce new approaches to assessing fire hazard properties of various flame retardant polymers at their laboratory production stage.

REFERENCES

1. Troitzsch J. *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3rd ed. Munich, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
2. Smirnov N. V., Konstantinova N. I. Condition and prospects of development of normative base polymeric materials for fire safety application. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2014, no. 1(150), pp. 249–252 (in Russian).
3. Naganovskiy Yu. K. *Improvement of identification and control methods of building materials and fire protection means*. Cand. tech. sci. diss. Balashikha, 2007. 215 p. (in Russian).
4. Beyler C. L., Hirschler M. M. Thermal decomposition of polymers. In: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3th ed. Quincy, Massachusetts, NFPA, 2002, chapter 7, pp. 1/110–1/131.
5. Shibin Nie, Yuan Hu, Lei Song, Shuqing He, Dandan Yang. Study on a novel and efficient flame retardant synergist-nanoporous nickel phosphates VSB-1 with intumescent flame retardants in polypropylene. *Polymers for Advanced Technologies*, 2008, vol. 19, issue 6, pp. 489–495. DOI: 10.1002/pat.1088.
6. Gonchikzhapov M. B., Paletsky A. A., Tereshchenko A. G., Kuibida L. V., Shmakov A. G., Korobeinichev O. P., Shundrina I. K. Structure of ultrahigh molecular weight polyethylene–air counterflow flame. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 260–272. DOI: 10.1134/S0010508216030023.
7. Korobeinichev O. P., Paletsky A. A., Kuibida L. V., Gonchikzhapov M. B., Shundrina I. K. Reduction of flammability of ultrahigh-molecular-weight polyethylene by using triphenyl phosphate additives. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2013, vol. 34, issue 2, pp. 2699–2706. DOI: 10.1016/j.proci.2012.06.045.
8. Paletsky A. A., Gonchikzhapov M. B., Shundrina I. K., Korobeinichev O. P. The mechanism of reducing combustibility of polyethylene of different molecular weight by adding phosphorus-containing compounds. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8(145), pp. 57–67 (in Russian).
9. Shuyu Liang, Patrick Hemberger, N. Matthias Neisius, Andras Bodi, Hansjörg Grützmacher, Joelle Levalois-Grützmacher, Sabyasachi Gaan. Elucidating the thermal decomposition of dimethyl methylphosphonate by vacuum ultraviolet (VUV) photoionization: pathways to the PO radical, a key species in flame-retardant mechanisms. *Chemistry — A European Journal*, 2015, vol. 21, issue 3, pp. 1073–1080. DOI: 10.1002/chem.201404271.
10. Reilly T., Beard A. *Additives used in flame retardant polymer formulations: current practice & trends. Fire retardants and their potential impact on fire fighter health*. Gaithersburg, MD USA, Workshop at NIST, 30 September 2009. Available at: <https://www.nist.gov/document-7987> (Accessed 20 June 2018).
11. Khasanov I. R., Kosachev A. A., Goltsov K. N. Feature of fire danger hinged front systems with an air backlash. *StroyPROFil / Construction Profile*, 2010, no. 3(81), pp. 16–24 (in Russian).
12. Konstantinova N. I., Smirnov N. V. On the issue of fire hazard of aluminum-composite panels for hinged facade systems. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2014, no. 12, pp. 69–72 (in Russian).

13. Khalturinskiy N. A., Rudakova T. A. Physical aspects of polymer combustion and mechanism of inhibitors. *Khimicheskaya fizika / Chemical Physics*, 2008, vol. 27, no. 6, pp. 73–84 (in Russian).
14. Lewin M. Synergism and catalysis in flame retardancy of polymers. *Polymers for Advanced Technologies*, 2001, vol. 12, no. 3–4, pp. 215–222. DOI: 10.1002/pat.132.
15. Chernova N. S. *Chemical transformation and fire-proof mechanism of heaving composition*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2010. 139 p. (in Russian).
16. Egina Yu. S. *Development of compositions and technology of synthesis of modified polymer gel layers to create fireproof translucent multilayer structures*. Cand. tech. sci. diss. Saratov, 2009. 163 p. (in Russian).
17. Ushkov V. A., Sokoreva E. V., Slavin A. M., Orlova A. M. Thermal resistance and fire hazard of building foam plastics on the basis of reactive oligomers. *Stroitel'nye Materialy / Construction Materials*, 2014, no. 11, pp. 28–32 (in Russian).
18. Smirnov N. V., Konstantinova N. I., Gordon E. P., Poedintsev E. A. Reduction of fire hazard in materials for irrigators and water collectors in cooling towers. *Power Technology and Engineering*, 2016, vol. 50, no. 3, pp. 306–308. DOI: 10.1007/s10749-016-0701-z.
19. Konstantinova N. I., Weber C., Afanaseva G. V., Spitsyn A. B. Evaluation of fire retardant properties of polymeric membrane on the base of polyethylene. In: *Book of Abstracts of the 9th International Seminar on Flame Structure* (Novosibirsk, Russia, 10–14 July, 2017), p. 106. Available at: http://kinetics.nsc.ru/kcp/9ISFS/9ISFS_Book_of_abstracts.pdf (Accessed 20 June 2018).

For citation: Konstantinova N. I., Smirnov N. V., Shebeko A. Yu. Revisiting the assessment of polymeric materials fire protection efficiency. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7–8, pp. 32–42. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.32-42.



Издательство «ПОЖНАУКА»

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие



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.

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

Л. А. КОРОЛЕВА, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: lyudamil@mail.ru)

А. Г. ХАЙДАРОВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (Россия, 190013, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 26; e-mail: andreyhaydarov@gmail.com)

Г. К. ИВАХНЮК, д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (Россия, 190013, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 26; e-mail: fireside@inbox.ru)

Д. Н. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, заместитель генерального директора БелНИИТ "Транстехника" (Беларусь, 220005, г. Минск, ул. Платонова, 22; e-mail: zgd@niit.by)

УДК 614.841

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Проанализировано применение эксергетического подхода для оценки энергоэкологической эффективности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. Химическая эксергия вещества рассмотрена как одно из условий возникновения пожара. Представлены зависимости между химической эксергией и показателями пожаровзрывоопасности веществ. Обоснована возможность использования эксергетического подхода для оценки пожарной опасности веществ топливно-энергетического назначения, обращающихся на железнодорожном транспорте. Определены преимущества такого подхода.

Ключевые слова: эксергия; железнодорожный транспорт; топливо; энергоэкологическая эффективность; пожарная опасность; теплота сгорания; температура вспышки; концентрационные пределы распространения пламени; температурные пределы распространения пламени.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.43-52

Введение

Одной из основных тенденций устойчивого развития национальной экономики является повышение энергетической эффективности процессов и производств при одновременном обеспечении пожарной и промышленной безопасности, рационального использования природных ресурсов, снижения негативного техногенного воздействия. Рост количества и качества потребляемой энергии обусловлен внедрением новых технологий, увеличением масштабов производства, что, в свою очередь, определяет поиск путей эффективного использования ресурсов и снижения уровня различных видов опасности.

Перспективным методом повышения энергетической эффективности и прогностической достоверности является эксергетический анализ [1].

Цель настоящей работы — обоснование возможности и преимуществ использования эксергетиче-

ского подхода к комплексной оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- определение областей применения эксергетического метода анализа;
- установление связи между эксергией и показателями пожаровзрывоопасности для веществ топливно-энергетического назначения, обращающихся на железнодорожном транспорте;
- выявление преимуществ эксергетического подхода.

Теоретические основы

Наиболее точное определение эксергии было сформулировано в книге [2]: “Эксергия равна работе обратимого процесса, протекающего в конкретных условиях между системой и окружающей средой

вплоть до заданных конкретных условий равновесия с этой средой, параметры которой не зависят от работы изучаемой системы и максимально близки к соответствующим параметрам окружающей природы”.

С введением эксергии в термодинамику возникло понятие “окружающая среда”, описываемое через ее температуру, давление и состав. При наличии двух систем, находящихся в разных состояниях, появляется возможность выполнения работы при переходе к состоянию равновесия.

Эксергия системы E (Дж) может быть разделена на ряд компонентов:

$$E = E_k + E_p + E_f + E_x, \quad (1)$$

где E_k , E_p , E_f , E_x — кинетическая, потенциальная, физическая и химическая составляющие эксергии соответственно.

Для большинства реальных технических систем кинетическая и потенциальная составляющие в формуле (1) малы и поэтому не имеют практического значения, за исключением таких объектов, как, например, гидроэлектростанции, использующие потенциальную эксергию воды. Следовательно, выражение (1) для типичной термодинамической системы можно записать в виде:

$$E = S(T - T_0) + V(p - p_0) + \sum_{i=1}^N n_i(\mu_i - \mu_0), \quad (2)$$

где S — энтропия, Дж/К;

T , T_0 — температура соответственно системы и окружающей среды, К;

V — объем системы, м³;

p , p_0 — давление соответственно в системе и окружающей среде, Па;

N — общее количество веществ — компонентов системы;

n_i — число молей i -го вещества, моль;

μ_i , μ_0 — химические потенциалы i -го вещества — соответственно компонента системы и окружающей среды (среды отсчета), Дж/моль.

В отличие от энергии эксергия не подчиняется закону сохранения, диссимилируясь или затрачиваясь вследствие необратимости любых реальных процессов. Потери эксергии прямо пропорциональны увеличению энтропии. Эксергия отражает качество и масштабы преобразований энергии внутри системы.

Проведение эксергетического анализа ориентировано на получение максимальной полезной работы, которую может совершить система. Его объектом могут быть технологические процессы, технико-экономические системы, отрасли промышленности, а также прогнозирование термодинамических процессов для различных систем.

Эксергия выступает мерой отклонения параметров состояния термодинамической системы от условий окружающей среды, что видно из формулы (2). Она отражает как ресурсный потенциал данной термодинамической системы, возможность ее использования, так и изменения, которые могут произойти в окружающей среде, опасность системы. В литературе рассматривают три вида возможных взаимодействий с окружающей средой:

- термическое (температурный потенциал) — источник вторичного тепла или теплового загрязнения;
- деформационное (потенциал — разница давлений) — например, работа расширения газов в двигателях внутреннего сгорания (контролируемое использование) и взрыв (неконтролируемое);
- химическое (химический потенциал) — использование сырьевых и топливных ресурсов, источник химического загрязнения.

В современных исследованиях понятие эксергии связывают с “правилом трех “Э””: эффективность, экономичность, экологическая целесообразность [3]. Эксергетический анализ позволяет получить характеристику внутреннего качества энергетического или производственного объекта, прогноз объема энергии, определить степень его безотходности как по материальному, так и по термодинамическому балансу, эффективность по веществу и энергии [4].

Железнодорожный транспорт признан в мире одним из энергетически эффективных и экологически чистых видов транспорта — по удельным показателям потребления энергии и выбросов загрязняющих веществ на единицу перевозочной работы [3]. В то же время транспортные системы, в том числе железнодорожный транспорт, можно рассматривать как крупные энергетические комплексы, которые используют большое количество топливно-энергетических ресурсов и оказывают негативное воздействие на окружающую среду и человека. Железнодорожный транспорт потребляет до 6 % производимого в нашей стране дизельного топлива, около 90 % от этого количества расходуется на тягу поездов [5]. Кроме того, железнодорожным транспортом осуществляются перевозки большого количества опасных грузов, в том числе топливно-энергетического назначения.

Согласно статистическим данным чрезвычайные ситуации при перевозке нефти и нефтепродуктов на железнодорожном транспорте связаны с механическим повреждением специальных цистерн и выходом веществ в окружающую среду с последующим воспламенением и (или) загрязнением территорий [6].

Пожарная опасность грузового подвижного состава определяется наличием большого количества опасных грузов, быстрым распространением пожа-

ров на большие площади, взрывами, затрудненностью подъезда пожарных подразделений, возможностью задержки введения огнетушащих веществ до выяснения физико-химических свойств грузов и обесточивания электроконтактной сети и другими факторами. Розливы нефти и нефтепродуктов при осуществлении перевозок создают наиболее опасные ситуации, которые могут привести к тяжелым последствиям.

В ночь на 31 января 2012 г. в Амурской обл. на Забайкальской железной дороге произошел сильнейший пожар. Из-за обрыва контактных проводов сошли с рельсов и опрокинулись 17 цистерн с нефтью, 13 из которых загорелись. Поездной бригаде удалось отцепить горящие цистерны и отогнать основной состав на безопасное расстояние. Всего транспортировалось 68 цистерн с нефтью. Пострадавших и погибших не было.

6 июля 2013 г. в г. Ляк-Межантик (Канада), расположенном в 250 км от Монреаля, из-за неисправности ручного тормоза потерпел крушение поезд, состоящий из 70 цистерн с сырой нефтью. Состав скатился с холма, цистерны оторвались от локомотива и, набрав скорость, сошли с рельсов в центральной части города с населением около 6000 чел. В результате возгорания произошла серия из шести мощных взрывов, разрушивших центральную часть города. Из опасного района пришлось эвакуировать более 1,5 тыс. чел. Многие лишились своего имущества, 47 чел. погибли.

9 мая 2013 г. на станции Белая Калитва Ростовской обл. сошел с рельсов локомотив, а вслед за ним — 51 цистерна с нефтепродуктами, в том числе с пропаном. Последовал взрыв, после чего начался пожар: загорелось масло, находившееся в ряде емкостей. Из одной поврежденной цистерны произошла утечка метилхлорида. Было эвакуировано 2,7 тыс. чел., госпитализировано — 30.

Анализу эффективности использования энерго-ресурсов на транспорте, оценке негативного воздействия транспортных систем на окружающую среду посвящено большое количество исследований. Однако они практически не затрагивают вопросов пожарной безопасности. Эксергетический метод получил применение для исследования транспортных систем в различных странах, например в Турции, Англии, Канаде, Китае, Италии, Иране [7–13].

Результаты и их обсуждение

Процессы использования и перевозки топливно-энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте сопряжены с пожарным риском. Нами рассмотрена возможность применения эксергетического подхода для оценки пожарной опасности процессов, происходящих на железнодорожном



Рис. 1. Место эксергии в “пожарном треугольнике”

Fig. 1. Position of exergy in the “Fire triangle”

транспорте, путем установления связи термодинамических характеристик и показателей пожаровзрывоопасности. Объектами исследования выбраны углеводороды, являющиеся основными компонентами жидкого и газообразного топлива.

Как известно, для возникновения и развития процессов горения необходимы горючее вещество, окислитель и определенные теплофизические условия (далее — ТФУ) [14]. Модель “пожарный треугольник” как простейшее представление об условиях возникновения пожара можно дополнить еще одной составляющей — эксергетической (рис. 1).

В настоящее время энергетический потенциал горючих веществ оценивается величиной теплоты сгорания, которая может быть определена экспериментально и расчетными методами. Отдельные исследования посвящены выявлению связи между теплотой сгорания и эксергией, например, для угля [15], пластмассовых отходов [16]. Данные по теплоте сгорания используют при расчете пожарной нагрузки и категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

На основе представленных в табл. 1 данных нами была установлена зависимость между удельной химической эксергией, приходящейся на 1 моль вещества, e_x и низшей теплотой сгорания Q_n углеводородов, определенной по справочнику [17].

На рис. 2 представлена зависимость между удельной химической эксергией e_x углеводородов, являющихся компонентами газообразного и жидкого топлива, и Q_n . Значения Q_n меняются от 802,0 до 11263,0 кДж/моль, при этом параметр e_x варьирует от 831,7 до 11937,4 кДж/моль:

$$Q_n = 0,937e_x + 66,7 \quad (831,7 \leq e_x \leq 11937,4).$$

Максимальная относительная погрешность при этом составляет 6 %. Коэффициент корреляции $R^2 = 0,999$.

Таблица 1. Значения e_x и Q_n для углеводородов

Table 1. Values of exergy and LHV (lower heating value) for hydrocarbons

№ п/п No.	Название вещества Name	Брутто-формула Formula	e_x		Q_n , кДж/ моль Q_f , kJ/mol
			Значение, кДж/моль Value, kJ/mol	Источник Source	
1	Метан Methane	CH ₄	831,7	18	802,0
2	Ацетилен Acetylene	C ₂ H ₂	1265,8	18	1301,0
3	Этилен Ethylene	C ₂ H ₄	1361,1	18	1318,0
4	Этан Ethane	C ₂ H ₆	1495,8	18	1576,0
5	Метилацетилен Methylacetylene	C ₃ H ₄	1899,5	18	1939,0
6	Пропен Propene	C ₃ H ₄	2003,9	18	1919,0
7	Циклопропан Cyclopropane	C ₃ H ₆	2043,2	18	2091,0
8	Пропан Propane	C ₃ H ₈	2154,0	18	2044,0
9	1,3-Бутадиен 1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	2500,0	20	2411,0
10	1-Бутин 1-Butyne	C ₄ H ₆	2552,3	18	2599,0
11	Циклобутан Cyclobutane	C ₄ H ₈	2516,2	18	2544,0
12	2-Метил-1-пропен 2-Methyl-1-propene	C ₄ H ₈	2646,0	19	2577,0
13	Цисбутен-2 Cis-2-butene	C ₄ H ₈	2652,0	19	2528,0
14	Бутен-1 1-Butylene	C ₄ H ₈	2659,7	18	2542,6
15	Трансбутен-2 Trans-2-butene	C ₄ H ₈	2650,0	19	2525,0
16	Изобутан Isobutane	C ₄ H ₁₀	2804,0	19	2649,0
17	н-Бутан n-Butane	C ₄ H ₁₀	2805,8	18	2657,0
18	3-Метил-1-бутен 3-Methyl-1-butene	C ₅ H ₁₀	3307,0	19	3143,0
19	Циклопентан Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	3268,0	19	3071,0
20	2-Метил-2-бутен 2-Methyl-2-butene	C ₅ H ₁₀	3291,0	19	3175,0
21	Пентен-1 1-Pentene	C ₅ H ₁₀	3310,0	19	3154,0
22	н-Пентан n-Pentane	C ₅ H ₁₂	3461,8	18	3272,0
23	2,2-Диметилпропан 2,2-Dimethylpropane	C ₅ H ₁₂	3453,0	19	3253,0
24	2-Метилбутан 2-Methylbutane	C ₅ H ₁₂	3453,0	19	3264,0

Продолжение табл. 1 / Continued Table 1

№ п/п No.	Название вещества Name	Брутто-формула Formula	e_x		Q_n , кДж/ моль Q_f , kJ/mol
			Значение, кДж/моль Value, kJ/mol	Источник Source	
25	Бензол Benzol	C ₆ H ₆	3294,0	20	3169,4
26	Гексен-1 1-Hexylene	C ₆ H ₁₂	3967,9	18	3767,7
27	Метилциклопентан Methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	3910,8	18	3705,0
28	Циклогексан Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	3909,2	18	3689,0
29	3-Метилпентан 3-Methylpentane	C ₆ H ₁₄	4110,0	19	3882,0
30	2,3-Диметилбутан 2,3-Dimethylbutane	C ₆ H ₁₄	4108,0	19	3868,0
31	н-Гексан n-Hexane	C ₆ H ₁₄	4114,5	18	3887,0
32	2,2-Диметилбутан 2,2-Dimethylbutane	C ₆ H ₁₄	4100,2	19	3868,0
33	Толуол Toluene	C ₇ H ₈	3931,0	18	3771,9
34	Метилциклогексан Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	4556,9	18	4293,0
35	2,3-Диметилпентан 2,3-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	4755,0	19	4490,0
36	2,4-Диметилпентан 2,4-Dimethylpentane	C ₇ H ₁₆	4758,0	19	4487,0
37	2,2,3-Триметилбутан 2,2,3-Trimethylbutane	C ₇ H ₁₆	4759,0	19	4484,0
38	н-Гептан n-Heptane	C ₇ H ₁₆	4761,7	18	4501,0
39	2-Метилгексан 2-Methylhexane	C ₇ H ₁₆	4759,0	19	4494,0
40	п-Ксилол p-Xylene	C ₈ H ₁₀	4573,0	19	4375,0
41	Этилбензол Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	4587,9	18	4386,9
42	о-Ксилол o-Xylene	C ₈ H ₁₀	4573,1	18	4376,0
43	Этилциклогексан Ethylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	5205,9	19	4911,0
44	2,2,4-Триметилпентан 2,2,4-Trimethylpentane	C ₈ H ₁₈	5413,0	18	5100,0
45	2,4-Диметилгексан 2,4-Dimethylhexane	C ₈ H ₁₈	5411,0	19	5105,0
46	2,2,3-Триметилпентан 2,2,3-Trimethylpentane	C ₈ H ₁₈	5416,0	19	5104,0
47	н-Октан n-Octane	C ₈ H ₁₈	5413,1	18	5116,0
48	2,3-Диметилгексан 2,3-Dimethylhexane	C ₈ H ₁₈	5416,0	19	5111,0
49	2-Метил-3-этилпентан 2-Methyl-3-ethylpentane	C ₈ H ₁₈	5420,0	19	5113,0

Окончание табл. 1 / End Table 1

№ п/п No.	Название вещества Name	Брутто-формула Formula	e_x		Q_n , кДж/ моль Q_n , kJ/mol
			Значение, кДж/моль Value, kJ/mol	Источник Source	
50	Кумол Cumene	C_9H_{12}	5233,0	20	5268,1
51	1,3,5-Триметилбензол 1,3,5-Trimethylbenzene	C_9H_{12}	5213,0	18	4993,0
52	н-Пропилбензол n-Propylbenzene	C_9H_{12}	5249,1	18	4996,9
53	1-Метил-2-этилбензол 1-Methyl-2-ethylbenzene	C_9H_{12}	5226,0	19	4993,0
54	1,2,3-Триметилбензол 1,2,3-Trimethylbenzene	C_9H_{12}	5216,0	19	4993,0
55	1-Метил-4-этилбензол 1-Methyl-4-ethylbenzene	C_9H_{12}	5222,0	18	4993,0
56	1,2,4-Триметилбензол 1,2,4-Trimethylbenzene	C_9H_{12}	5211,0	19	4993,0
57	1-Метил-3-этилбензол 1-Methyl-3-ethylbenzene	C_9H_{12}	5222,0	19	4993,0
58	н-Пропилциклогексан n-Propylcyclohexane	C_9H_{18}	5857,7	18	5525,0
59	н-Нонан n-Nonane	C_9H_{20}	6064,9	18	5731,0
60	Нафталин Naphthalene	$C_{10}H_8$	5255,0	18	5050,0
61	н-Бутилбензол n-Butylbenzene	$C_{10}H_{14}$	5892,0	18	5608,9
62	н-Бутилциклогексан n-Butylcyclohexane	$C_{10}H_{20}$	6511,5	18	6134,0
63	н-Декан n-Decane	$C_{10}H_{22}$	6716,8	18	6346,0
64	Пентаметилбензол Pentamethylbenzene	$C_{11}H_{16}$	6516,0	18	6224,6
65	н-Ундекан n-Undecane	$C_{11}H_{24}$	7376,9	18	6960,0
66	н-Додекан n-Dodecane	$C_{12}H_{26}$	8029,4	18	7575,0
67	н-Тридекан n-Tridecane	$C_{13}H_{28}$	8682,0	18	8190,0
68	1,1-Дифенилэтан 1,1-Diphenylethane	$C_{14}H_{14}$	7665,9	18	7330,0
69	н-Тетрадекан n-Tetradecane	$C_{14}H_{30}$	9334,5	18	8804,0
70	н-Пентадекан n-Pentadecane	$C_{15}H_{32}$	9984,8	18	9419,0
71	н-Гексадекан (цетан) n-Hexadecane	$C_{16}H_{34}$	10639,7	18	10034,0
72	н-Октадекан n-Octadecane	$C_{18}H_{38}$	11937,4	18	11263,0
73	Трифенилметан Triphenylmethane	$C_{19}H_{16}$	10109,2	18	9660,0

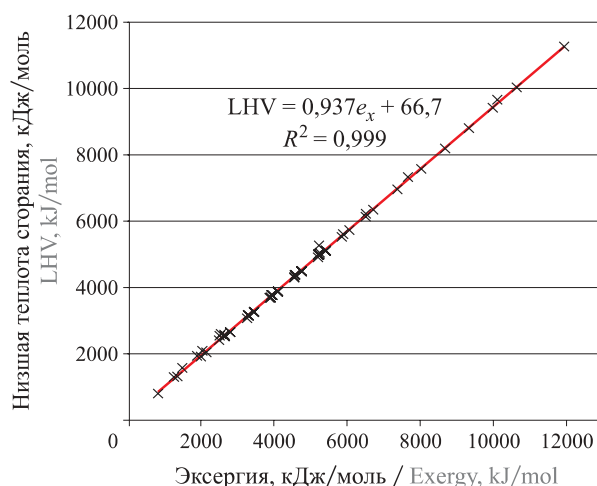


Рис. 2. Зависимость значений Q_n и e_x для углеводородов
Fig. 2. Correlation between LHV (lower heating value) and exergy for hydrocarbons

По международным стандартам ISO 3679 и ISO 13736 температура вспышки $T_{всп}$ не является константой для физико-химических свойств вещества или материала: ее значения, полученные экспериментальным путем, зависят от аппаратного оформления, методики определения и могут иметь значительный разброс [21]. Кроме того, не для всех веществ найдены экспериментальные значения температуры вспышки. Основным назначением рассматриваемого показателя пожаровзрывоопасности во многих странах является его применение в качестве критерия при делении воспламеняющихся жидкостей на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ). Значение температуры вспышки используется при определении категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. При оценке пожарной опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89 допускается использовать как экспериментальные, так и расчетные значения температуры вспышки. Методы рас-

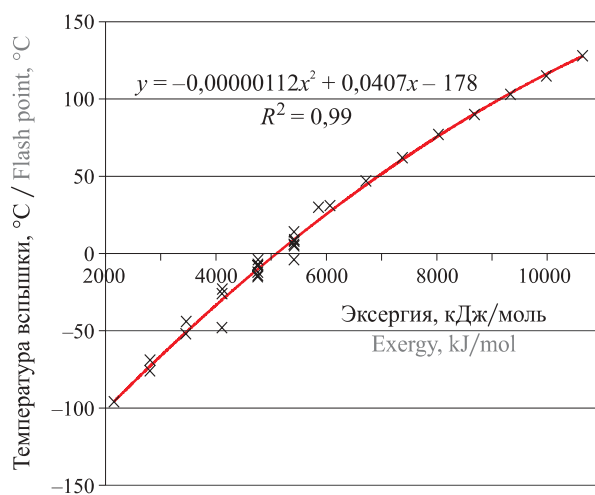


Рис. 3. Зависимость $T_{всп}$ от величины e_x для алканов
Fig. 3. Correlation between flash point and exergy for alkanes

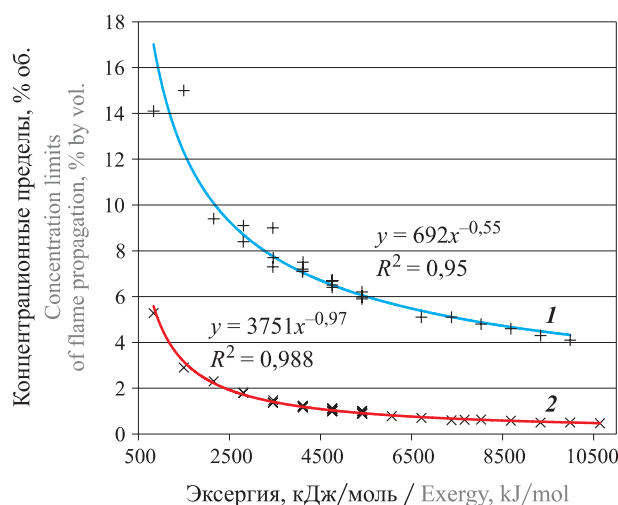


Рис. 4. Зависимость ВКПР (1) и НКПР (2) от величины e_x для алканов

Fig. 4. Correlation between upper (1) and lower (2) concentration limits of flame propagation and exergy for alkanes

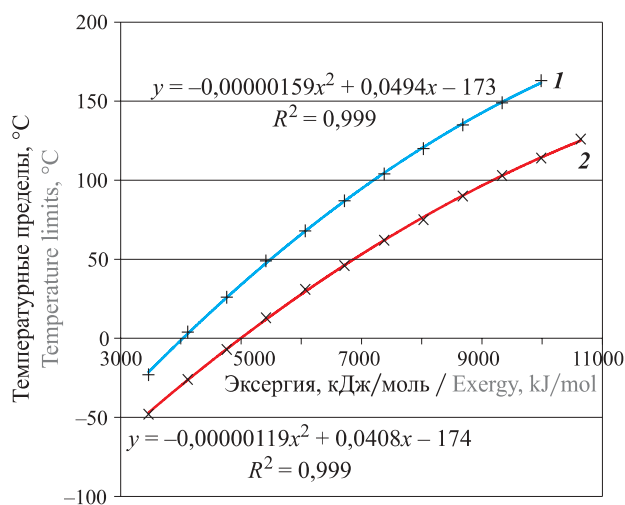


Рис. 5. Зависимость ВТПР (1) и НТПР (2) от величины e_x для алканов

Fig. 5. Correlation between upper (1) and lower (2) temperature limits of flame propagation and exergy for alkanes

Таблица 2. Формулы для расчета показателей пожаровзрывоопасности алканов

Table 2. Formulas for calculating fire and explosion ratio for alkanes

№ п/п No.	Показатель Property	Формула для расчета Formula	R^2
1	Температура вспышки / Flash point	$T_{всп} (FP) = 112 \cdot 10^{-8} e_x^2 + 0,0407 e_x - 178$	0,990
2	НКПР / Lower concentration limit of flame propagation	$НКПР (LFL) = 3751,1 e_x^{-0,968}$	0,950
3	ВКПР / Upper concentration limit of flame propagation	$ВКПР (UFL) = 692,45 e_x^{0,551}$	0,988
4	НТПР / Lower temperature limit of flame propagation	$НТПР (LTFL) = 119 \cdot 10^{-8} e_x^2 + 0,0408 e_x - 174$	0,999
5	ВТПР / Upper temperature limit of flame propagation	$ВТПР (UTFL) = 159 \cdot 10^{-8} e_x^2 + 0,0494 e_x - 173$	0,999

чета и прогнозирования данного показателя являются предметом современных исследований.

Нами проанализирована связь между температурой вспышки для углеводородов различных классов и их химической эксергией. В частности, для алканов данная зависимость приведена на рис. 3.

Важным показателем пожаровзрывоопасности являются концентрационные пределы распространения пламени, определяемые экспериментально и расчетным путем. Их существование является фундаментальным свойством горючих смесей. Рассматриваемый показатель в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89 применяют при определении размеров взрывоопасных зон, расчете и обосновании взрывоопасных концентраций веществ внутри технологического оборудования, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Зависимость нижнего (НКПР) и верхнего (ВКПР) концентрационных пределов распространения пламени от удельной химической эксергии для алканов представлена на рис. 4.

Еще одним важным показателем пожаровзрывоопасности веществ являются температурные пределы распространения пламени. Их учитывают при

расчете пожаровзрывобезопасных температурных режимов работы технологического оборудования; при оценке аварий, связанных с проливом горючих и легковоспламеняющихся жидкостей; при расчете ВКПР и НКПР (ГОСТ 12.1.044–89). Зависимость верхнего (ВТПР) и нижнего (НТПР) температурных пределов распространения пламени от удельной химической эксергии для алканов приведена на рис. 5.

В табл. 2 представлены формулы, полученные для расчета показателей пожаровзрывоопасности веществ — компонентов жидких и газообразных топлив, применяемых и преевозимых на железнодорожном транспорте.

Вследствие расширения спектра обращающихся веществ и материалов экспериментальное определение показателей пожаровзрывоопасности часто затруднительно, поэтому используют расчетные методы их определения. Найдены зависимости между химической эксергией и показателями пожаровзрывоопасности веществ. Кроме того, выявлены преимущества использования эксергетического метода анализа, включающие аспекты обеспечения пожарной безопасности (рис. 6).



Рис. 6. Преимущества использования эксергетического метода анализа / Fig. 6. Using the exergy analysis for fire safety

Закключение

Предлагаемый эксергетический подход позволяет комплексно рассматривать вопросы энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожным транспортом. Кроме того, он дает возможность выявить связи термодинамических характеристик с технико-экономическими, экологическими показателями и провести оценку пожаровзрывоопасности обращающихся на железнодорожном транспорте веществ и материалов.

Использование эксергетического подхода определяется его универсальностью и возможностью преодоления методологических проблем при необходимости учета различных показателей в единой системе.

Полученные зависимости позволяют ранжировать обращающиеся на железнодорожном транспорте вещества топливно-энергетического назначения по показателям их энергетической эффективности и пожарной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 48–2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456096365> (дата обращения: 06.06.2018).
2. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия / Пер. с польск. — М.: Энергия, 1968. — 280 с.
3. Попов В. Г., Боровков Ю. Н., Сухов Ф. И. Оценка энерго-экологической эффективности // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 3. — С. 96–101.
4. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа. — М.: Энергия, 1973. — 296 с.
5. Энергетическая стратегия холдинга “Российские железные дороги” на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года: распоряжение ОАО “РЖД” от 15.12.2011 № 2718р. — М., 2011. — 96 с. URL: http://rzd-expo.ru/doc/Energ_Strateg_new.pdf (дата обращения: 06.06.2018).
6. Елизарьев А. Н., Юсупов Т. Р., Елизарьева Е. Н. Прогнозирование разливов нефтепродуктов при железнодорожных авариях // Бюллетень результатов научных исследований. — 2016. — № 3-4(20-21). — С. 28–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-razlivov-nefteproduktov-pri-zheleznodorozhnyh-avariyah> (дата обращения: 20.06.2018).
7. Seckin C., Sciubba E., Bayulken A. R. Extended exergy analysis of Turkish transportation sector // Journal of Cleaner Production. — 2013. — Vol. 47. — P. 422–436. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.07.008.
8. Byers E. A., Gasparatos A., Serrenho A. C. A framework for the exergy analysis of future transport pathways: Application for the United Kingdom transport system 2010–2050 // Energy. — 2015. — Vol. 88. — P. 849–862. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.021.
9. Motasemi F., Afzal M. T., Salema A. A., Moghavvemi M., Shekarchian M., Zarifi F., Mohsin R. Energy and exergy utilization efficiencies and emission performance of Canadian transportation sector, 1990–2035 // Energy. — 2014. — Vol. 64. — P. 355–366. DOI: 10.1016/j.energy.2013.09.064.
10. Zhang M., Li G., Mu H. L., Ning Y. D. Energy and exergy efficiencies in the Chinese transportation sector, 1980–2009 // Energy. — 2011. — Vol. 36, Issue 2. — P. 770–776. DOI: 10.1016/j.energy.2010.12.044.

11. *Federici M., Ulgiati S., Basosi R.* A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems // *Energy*. — 2008. — Vol. 33, Issue 5. — P. 760–775. DOI: 10.1016/j.energy.2008.01.010.
12. *Lior N., Sarmiento-Darkin W., Al-Sharqawi H. S.* The exergy fields in transport processes: Their calculation and use // *Energy*. — 2006. — Vol. 3, Issue 5. — P. 553–578. DOI: 10.1016/j.energy.2005.05.009.
13. *Zarifi F., Mahlia T. M. I., Motasemi F., Shekarchian M., Moghavvemi M.* Current and future energy and exergy efficiencies in the Iran's transportation sector // *Energy Conversion and Management*. — 2013. — Vol. 74. — P. 24–34. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.04.041.
14. *Киселёв Я. С., Хорошилов О. А.* Стандартный и научный подходы к определению условий возникновения горения // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2004. — Т. 13, № 6. — С. 45–52.
15. *Zhang Y., Wang Q., Li B., Li H., Zhao W.* Is there a general relationship between the exergy and HHV for rice residues? // *Renewable Energy*. — 2018. — Vol. 117. — P. 37–45. DOI: 10.1016/j.renene.2017.10.022.
16. *Huang Y. W., Chen M. Q., Li Q. H., Xing W.* A critical evaluation on chemical exergy and its correlation with high heating value for single and multi-component typical plastic wastes // *Energy*. — 2018. — Vol. 156. — P. 548–554. DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.116.
17. *Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.
18. *Szargut J., Morris D. R., Steward F. R.* Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes. — New York : Hemisphere Publishing Corporation, 1988. — 332 p.
19. *Perry R. H., Chilton C. H.* Chemical Engineer's Handbook. — 5th ed. — New York : McGraw-Hill, 1973. — 1550 p.
20. *Ayres R. U., Ayres L. W., Martínás K.* Exergy, waste accounting, and life-cycle analysis // *Energy*. — 1998. — Vol. 23, Issue 5. — P. 355–363. DOI: 10.1016/S0360-5442(97)00076-5.
21. *Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М.* Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.

Материал поступил в редакцию 5 августа 2018 г.

Для цитирования: Королева Л. А., Хайдаров А. Г., Ивахнюк Г. К., Коваль Д. Н. Эксергетический подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 43–52. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.43-52.

English

EXERGISTIC APPROACH TO ESTIMATION OF ENERGY-ECOLOGICAL EFFICIENCY AND FIRE HAZARD OF CARGO TRANSPORTATION ON RAILWAY TRANSPORT

KOROLEVA L. A., Candidate of Technical Sciences, Docent, Deputy Head of Fire, Rescue Equipment and Automotive Industry Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: lyudamil@mail.ru)

KHAYDAROV A. G., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Department of Business Informatics, Saint Petersburg State Technology Institute (Technical University) (Moskovskiy Avenue, 26, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation; e-mail: andreyhaydarov@gmail.com)

IVAKHNYUK G. K., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Protection of Environment, Saint Petersburg State Technology Institute (Technical University) (Moskovskiy Avenue, 26, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation; e-mail: fireside@inbox.ru)

KOVAL D. N., Candidate of Technical Sciences, Deputy Director-General, Belarusian Research Institute of Transport Transtekhnika (Platonova St., 22, Minsk, 220005, Republic of Belarus; e-mail: zgd@niit.by)

ABSTRACT

Introduction. One of the main trends in the sustainable development of the national economy is an increase in the energy efficiency of processes and industries, fire and industrial safety, rational use of natural resources, and reduction of negative man-made impact. A method for improving energy efficiency and predictive reliability is exergy analysis. However, it is not enough specified for fire safety.

Theoretical basis. Exergy is a thermodynamic concept, used for many years within engineering analysis of chemical and mechanical processes and systems. In modern science the concept of exergy is associated with efficiency, economy, and environmental feasibility. However, exergy analysis is practically does not affect issues related to fire safety.

Result and discussion. Consider the possibility of using an exergy approach to assess the fire danger of rail transport. At first we establish relationships between thermodynamic characteristics and fire and explosion hazard ratio. The objects of research are hydrocarbons, which are the main components of liquid and gaseous fuels.

Exergy is considered as one of the conditions for the occurrence of a fire.

We have determined the dependencies between the specific chemical exergy and the fire and explosion hazard ratio of substances for railway transport. Specific chemical exergy was found from literature sources.

Lower heat of combustion, flash point, temperature limits of flame propagation, concentration limits of flame propagation parameters were considered. Formulas for calculation are proposed. The correlation of determination R^2 was calculated (from 0.950 to 0.999).

Using the exergy method of analysis has some preference for fire safety.

Conclusions. The offered approach allows to consider in a complex way the questions of energy-ecological efficiency and fire danger of cargo transportations of a railway transportation. It also makes it possible to identify the links between thermodynamic characteristics and technical, economic and environmental indicators and to assess the fire and explosion hazard of substances and materials for railway transport. The obtained dependences allow to rank substances of fuel and energy purpose in terms of their energy efficiency and fire hazard.

Keywords: exergy; railway transport; fuel; energy-ecological efficiency; fire danger; LHV; flash point; concentration limits of flame propagation; temperature limits of flame propagation.

REFERENCES

1. *Information and technical reference for best available technology. ITS 48–2017. Energy efficiency improvement during economic and/or other activities* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456096365> (Accessed 6 June 2018).
2. Szargut J., Petela R. *Eksergiya* [Exergy]. Moscow, Energiya Publ., 1968. 280 p. (in Russian).
3. Popov V. G., Borovkov Yu. N., Sukhov F. I. Assessment of energy and environmental efficiency. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2012, vol. 10, no. 3, pp. 96–101 (in Russian).
4. Brodyanskiy V. M. *Eksergeticheskiy metod termodinamicheskogo analiza* [Exergy method of thermodynamic analysis]. Moscow, Energiya Publ., 1973. 296 p. (in Russian).
5. *Energy strategy of the Russian Railways Holding for the period up to 2015 and for the future up to 2030*. Directive of the Russian Railways Holding on 15.12.2011 No. 2718r. Moscow. 2011. 96 p. (in Russian). Available at: http://rzd-expo.ru/doc/Energ_Strateg_new.pdf (Accessed 6 June 2018).
6. Elizariyev A. N., Yusupov T. R., Elizariyeva E. N. Oil spills forecasting in rail accidents. *Bulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy / Results of Scientific Research Work*, 2016, no. 3-4(20-21), pp. 28–35 (in Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovaniye-razlivov-nefteproduktov-pri-zheleznodorozhnyh-avariyah> (Accessed 20 June 2018).
7. Seckin C., Sciubba E., Bayulken A. R. Extended exergy analysis of Turkish transportation sector. *Journal of Cleaner Production*, 2013, vol. 47, pp. 422–436. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.07.008.
8. Byers E. A., Gasparatos A., Serrenho A. C. A framework for the exergy analysis of future transport pathways: Application for the United Kingdom transport system 2010–2050. *Energy*, 2015, vol. 88, pp. 849–862. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.021.

9. Motasemi F., Afzal M. T., Salema A. A., Moghavvemi M., Shekarchian M., Zarifi F., Mohsin R. Energy and exergy utilization efficiencies and emission performance of Canadian transportation sector, 1990–2035. *Energy*, 2014, vol. 64, pp. 355–366. DOI: 10.1016/j.energy.2013.09.064.
10. Zhang M., Li G., Mu H. L., Ning Y. D. Energy and exergy efficiencies in the Chinese transportation sector, 1980–2009. *Energy*, 2011, vol. 3, issue 2, pp. 770–776. DOI: 10.1016/j.energy.2010.12.044.
11. Federici M., Ulgiati S., Basosi R. A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems. *Energy*, 2008, vol. 3, issue 5, pp. 760–775. DOI: 10.1016/j.energy.2008.01.010.
12. Lior N., Sarmiento-Darkin W., Al-Sharqawi H. S. The exergy fields in transport processes: Their calculation and use. *Energy*, 2006, vol. 3, issue 5, pp. 553–578. DOI: 10.1016/j.energy.2005.05.009.
13. Zarifi F., Mahlia T. M. I., Motasemi F., Shekarchian M., Moghavvemi M. Current and future energy and exergy efficiencies in the Iran's transportation sector. *Energy Conversion and Management*, 2013, vol. 74, pp. 24–34. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.04.041.
14. Kiselev Ya. S., Khoroshilov O. A. Standard and scientific approaches to the determination of combustion appearance conditions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 6, pp. 45–52 (in Russian).
15. Zhang Y., Wang Q., Li B., Li H., Zhao W. Is there a general relationship between the exergy and HHV for rice residues? *Renewable Energy*, 2018, vol. 117, pp. 37–45. DOI: 10.1016/j.renene.2017.10.022.
16. Huang Y. W., Chen M. Q., Li Q. H., Xing W. A critical evaluation on chemical exergy and its correlation with high heating value for single and multi-component typical plastic wastes. *Energy*, 2018, vol. 156, pp. 548–554. DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.116.
17. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, part I, 713 p.; part II, 774 p. (in Russian).
18. Szargut J., Morris D. R., Steward F. R. *Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes*. New York, Hemisphere Publishing Corporation, 1988. 332 p.
19. Perry R. H., Chilton C. H. *Chemical engineer's handbook*. 5th ed. New York, McGraw-Hill, 1973. 1550 p.
20. Ayres R. U., Ayres L. W., Martinás K. Exergy, waste accounting, and life-cycle analysis. *Energy*, 1998, vol. 23, issue 5, pp. 355–363. DOI: 10.1016/S0360-5442(97)00076-5.
21. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Flash point. Part I. Question history, definitions, and test methods of determination. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41 (in Russian).

For citation: Koroleva L. A., Khaydarov A. G., Ivakhnyuk G. K., Koval D. N. Exergistic approach to estimation of energy-ecological efficiency and fire hazard of cargo transportation on railway transport. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 43–52 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.43-52.

Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

А. В. КРЮЧКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности критически важных объектов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1; e-mail: kruchkov.a@gubkin.ru)

К. А. МИХАЙЛОВ, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, кафедра информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: mihkir.94@mail.ru)

НГУЕН ТУАН АНЬ, канд. техн. наук, и.о. начальника факультета, Институт пожарной безопасности Министерства общественной безопасности Вьетнама (Вьетнам, 100000, г. Ханой, ул. Хуат Зуй Тьен, 243; e-mail: tuan_moskva@mail.ru)

УДК 614.849:004.42

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА УСТОЙЧИВОСТЬ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Проанализирована роль человека (программиста) в процессе эксплуатации и синтеза специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (СПО АСПВБ). Рассмотрена модель оценки влияния человека (программиста) на устойчивость СПО АСПВБ нефтеперерабатывающих производств на примере единичной программной системы (ЕПС). Показано, что влияние программиста на ЕПС АСПВБ задается вектором перечисления внешней, концептуальной и внутренней схем данных и формализовано путем вывода общей функции влияния человека на СПО АСПВБ через трудозатраты на реализацию. Сделан вывод, что влияние человека на устойчивость СПО АСПВБ не зависит от количества используемых единичных программных систем.

Ключевые слова: специальное программное обеспечение; автоматизированная система пожаровзрывобезопасности; единичная программная система; нефтеперерабатывающие предприятия; объектно-ориентированное программирование.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.53-59

Введение

Нефтегазовый комплекс играет ключевую роль в экономике Российской Федерации. Его вклад в экономику страны в 2017 г. составил около 20 % валового внутреннего продукта, 50 % доходов федерального бюджета, 67 % объема экспорта. В то же время пожары и взрывы были и остаются одной из наиболее опасных угроз при работе нефтеперерабатывающих предприятий (НПП). Для их предотвращения, своевременного обнаружения и локализации используются различные способы. Наиболее эффективным средством остается применение автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) [1, 2]. Их составной частью, работа которой наибольшим образом влияет на успешность работы АСПВБ в целом, является программное обеспечение (ПО). Внутри данного объекта особо выделяется специальное ПО (СПО), под которым принято понимать программы, разворачиваемые на автоматизированных

рабочих местах (АРМ) операторов АСПВБ. СПО выполняет часть функций операторов АСПВБ в автоматизированном режиме и обеспечивает штатное функционирование ее основных подсистем. Поэтому от того, насколько надежной и устойчивой будет работа специального программного обеспечения внутри АСПВБ, зависит надежность и устойчивость АСПВБ НПП в целом.

Целью настоящей работы является оценка влияния человека (программиста) на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности НПП. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи: анализ роли человека (программиста) в процессе синтеза и эксплуатации специального программного обеспечения АСПВБ НПП; разработка модели оценки влияния человека на устойчивость СПО АСПВБ нефтеперерабатывающих производств.

Теоретические основы

При синтезе программ СПО в автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП), составной частью которой является АСПВБ [1, 2], необходимо задействовать большое число технических специалистов в области разработки СПО. Кроме того, в силу постоянных изменений в правилах и порядке эксплуатации того или иного оборудования НПП в СПО следует периодически вносить изменения. Зачастую для отдельных частей СПО АСПВБ (ввиду масштабности данного проекта) необходимо проводить синтез на информационных технологиях, принципы работы которых отличаются от принципов действия уже работающего СПО [3–5]. Это приводит к нарушению устойчивости работы СПО как на отдельных АРМ, так и в АСПВБ в целом. Такие проявления связаны прежде всего с человеческим фактором. Влияние человека на процессы синтеза и модернизации необходимо правильно оценить, поэтому следует построить модель оценки влияния человека на СПО АСПВБ.

Для построения модели будем считать, что СПО АСПВБ состоит из множества одинаковых по структуре элементов — единичных программных систем (ЕПС). Каждая из них выполняет роль программной оболочки на АРМ оператора АСПВБ. Рассмотрим построение искомой модели для одной ЕПС.

Согласно [6] модель реализации программ с помощью языка высокого уровня может быть сведена к схеме, представленной на рисунке. Схема включает два блока, связанные с ЕПС, реализующей функции обработки данных конкретной предметной области. Первый блок относится к модели данных

предметной области, второй — к программам обработки данных.

Модель данных предметной области включает в себя три представления: внешнее, концептуальное и внутреннее, а модель программ (точнее сказать программы СПО АСПВБ, так как о моделях программ говорить не принято) содержит отражение требований специалистов (см. рисунок): оператора, заказчика (технического писателя, проектировщика), кодировщика (программиста), тестировщика, специалиста в области безопасности данных и программ. Помимо них, в данном блоке могут быть собраны требования к функциям других ролей участников процесса синтеза СПО АСПВБ в соответствии с предлагаемой ныне моделью технологической зрелости организаций [7] или Capability Maturity Model (CMM) [8, 9].

Общее число ролей участников процесса синтеза СПО в CMM [7–9] обычно больше. Однако в нашем случае число ролей участников значения не имеет, так как в рассматриваемых в статье моделях будет меняться лишь размерность соответствующих множеств.

Модель процесса синтеза СПО АСПВБ в терминах реляционной алгебры для приведенного на рисунке отображения может быть математически представлена в виде суперпозиции двух множеств. В их состав должны входить определяющие их представления, каждое из которых является сложным множеством, состоящим из нескольких уровней иерархии. Рассматривая последовательно каждую из двух групп представлений, входящих в модель синтеза СПО АСПВБ, можно получить две группы близких по форме формул для функции вли-

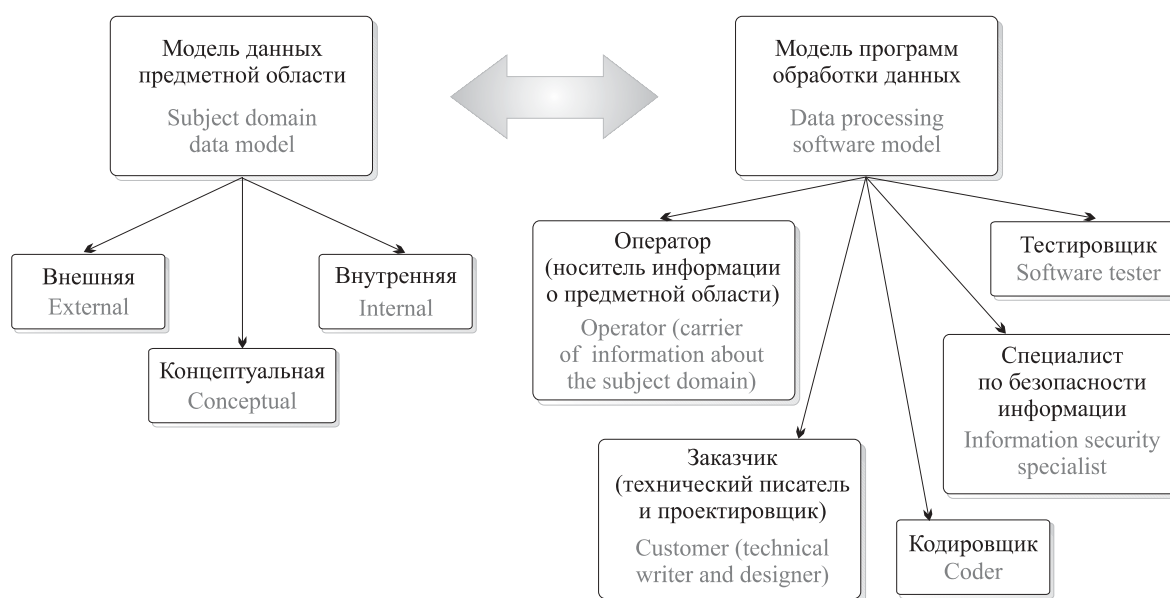


Схема отображения предметной области на единичной программной системе

Diagram of displaying the subject domain on single program system

яния человека. Разница между ними будет только в числе используемых в моделях представлений. Поэтому рассмотрим только представления и формулы в модели данных предметной области. Формулы модели программ могут быть выведены аналогичным образом.

Для модели предметной области указанные на рисунке представления являются структурированными множествами. Они содержат вложенные описания объектов предметной области на языке конкретной предметной области и определения их связей между собой и с окружающим миром. Рассмотрим выражение этого взаимодействия в формулах:

$$V_{\text{внеш}} = \{R_{\text{об}}^{\text{внеш}}, R_{\text{св}}^{\text{внеш}}\}; \quad (1)$$

$$V_{\text{внутр}} = \{R_{\text{об}}^{\text{внутр}}, R_{\text{св}}^{\text{внутр}}\}; \quad (2)$$

$$V_{\text{конц}} = \{R_{\text{об}}^{\text{конц}}, R_{\text{св}}^{\text{конц}}\}, \quad (3)$$

где $V_{\text{внеш}}$, $V_{\text{внутр}}$, $V_{\text{конц}}$ — представления, соответствующие перечисленным на рисунке типам моделей данных;

$R_{\text{об}}^{\text{внеш}}$, $R_{\text{об}}^{\text{внутр}}$, $R_{\text{об}}^{\text{конц}}$ — множество объектов в представлениях;

$R_{\text{св}}^{\text{внеш}}$, $R_{\text{св}}^{\text{внутр}}$, $R_{\text{св}}^{\text{конц}}$ — множество связей в представлениях.

В то же время каждое из множеств $R_{\text{об}}$ и $R_{\text{св}}$ ($R_{\text{об}}^{\text{внеш}}$, $R_{\text{об}}^{\text{внутр}}$, $R_{\text{об}}^{\text{конц}}$) в формулах (1)–(3) может быть представлено формулами:

$$R_{\text{об}} = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}; \quad (4)$$

$$R_{\text{св}} = \{(O_{11}, O_{12}, T_1), (O_{21}, O_{22}, T_2), \dots, (O_{n1}, O_{n2}, T_n)\}, \quad (5)$$

где $O_1, O_2, \dots, O_n$, O_{i1}, O_{i2} ($i = 1, 2, \dots, n$) — объекты $R_{\text{об}}$;

$T_1, T_2, \dots, T_n$ — типы связей (отношения) между объектами O_{n1}, O_{n2} .

Согласно идеологии объектно-ориентированного программирования [10, 11] указанные в (4) объекты содержат множества свойств, методов и событий. Каждое из них может в свою очередь представлять собой как объект, так и дерево объектов. На базе множеств (1)–(3) необходимо определить одну или несколько функций, исследование которых даст инструмент для определения количественной оценки влияния человека на процесс синтеза СПО.

С этой целью, исходя из того что для получения законченной модели предметной области необходима суперпозиция представлений $V_{\text{внеш}}$, $V_{\text{внутр}}$, $V_{\text{конц}}$, рассмотрим последовательное отображение их друг на друга. Такой подход даст нам следующую группу формул:

$$V_{\text{конц}} = f_{\text{конц}}(V_{\text{внеш}}); \quad (6)$$

$$V_{\text{внутр}} = f_{\text{внутр}}(V_{\text{конц}}); \quad (7)$$

$$V_{\text{внутр}} = f_{\text{внутр}}(f_{\text{конц}}(V_{\text{внеш}})), \quad (8)$$

где $f_{\text{конц}}$, $f_{\text{внутр}}$ — функции преобразования внешней модели в концептуальную и концептуальной модели во внутреннюю.

Таким образом, суперпозиция множеств (1)–(3) с учетом приведенных выше рассуждений, описанных в (6)–(8), будет выглядеть как представление W_d (общее представление модели данных):

$$W_d = f_{\text{внутр}}(f_{\text{конц}}(V_{\text{внеш}})). \quad (9)$$

В полученной суперпозиции $V_{\text{внеш}}$ — аргумент представления W_d . В (9) получен аргумент для функции влияния W_d , с помощью которого степень влияния Z_d может быть рассчитана как

$$Z_d = f_d(W_d), \quad (10)$$

где f_d — функция, определяющая зависимость степени влияния Z_d от функции влияния W_d .

Функция-обобщение с учетом сказанного может быть определена либо как вектор перечислением следующих схем данных:

$$Z_d = \{Z_1^{\text{внеш}}, Z_2^{\text{внеш}}, \dots, Z_N^{\text{внеш}}, Z_1^{\text{конц}}, Z_2^{\text{конц}}, \dots, Z_M^{\text{конц}}, Z_1^{\text{внутр}}, Z_2^{\text{внутр}}, \dots, Z_L^{\text{внутр}}\}, \quad (11)$$

либо как матрица (см. ниже формулу (12)).

Влияние человека на синтез в ЕПС АСПВБ трех моделей данных задано в (11) вектором перечисления: внешней, концептуальной и внутренней схем данных. Так как количество компонент, реализуемых на каждом из этапов априори, различно, общая функция влияния может быть реализована с помощью суммы (свертки), определяющей полную степень влияния в (11).

При переходе от ЕПС к СПО, состоящей из k ЕПС, на основе (11) может быть получена матрица следующего вида:

$$\begin{matrix} Z_1^{(1)\text{внеш}}, \dots, Z_1^{(1)\text{конц}}, \dots, Z_1^{(1)\text{внутр}}, \dots, Z_L^{(1)\text{внутр}} \\ Z_2^{(2)\text{внеш}}, \dots, Z_1^{(2)\text{конц}}, \dots, Z_1^{(2)\text{внутр}}, \dots, Z_L^{(2)\text{внутр}} \\ \dots \\ Z_1^{(k)\text{внеш}}, \dots, Z_1^{(k)\text{конц}}, \dots, Z_1^{(k)\text{внутр}}, \dots, Z_L^{(k)\text{внутр}} \end{matrix} \quad (12)$$

Общая функция $Z_{\text{ИС}}^{(k)}$ (ИС — информационные системы) влияния человека на СПО АСПВБ (через трудозатраты на реализацию), состоящей из k ЕПС, определяется суммированием всех трудозатрат в матрице (12) сверткой данной матрицы:

$$Z_{\text{ИС}}^{(k)} = \sum_{i=1}^N Z_i^{\text{внеш}} + \sum_{i=1}^M Z_i^{\text{конц}} + \sum_{i=1}^L Z_i^{\text{внутр}}. \quad (13)$$

Снижение влияния согласно (13) может достигаться за счет сокращения количества элементов матрицы (N, M, L) или уменьшения коэффициентов трудоемкости в каждой из строк. Некоторые значения элементов матрицы (12) могут обращаться в ноль

в случае, если элемент, которому они должны соответствовать, уже разработан и может использоваться без дополнительных “усилий”.

В [12] приведены сходные математические построения. Они связаны с методами системного анализа (проектирования) [13, 14] и оценки эффективности информационных систем сети связи с радиально-кольцевой структурой, которая по сути напоминает структуру СПО АСПВБ. Тем не менее они могут быть использованы для построения обобщенного показателя эффективности влияния на СПО (с. 31 [12]) лишь частично. Это связано с тем, что сам по себе процесс синтеза СПО [15–20] существенно отличается от процесса создания системы передачи информации.

Помимо формул (12) и (13), для оценки влияния можно использовать и другие методы, например построение нагруженного графа и поиск пути в нем методами генетических алгоритмов [21–24]. В этом случае в графе необходимо будет найти оптимальный путь с помощью используемых векторов поиска (хромосом), размер которых не фиксирован.

Заключение

Таким образом, построение математической модели оценки влияния человека на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности [1, 2, 4, 19], основанной на отображении представлений данных, позволяет получить формулу количественной оценки функции влияния человека на СПО при его синтезе. При этом количество единичных программных систем в АСПВБ для полученных формул значения не имеет. Из них, в частности, следует, что решение вопроса о снижении влияния человека на устойчивость СПО АСПВБ лежит в плоскости увеличения количества многократно используемых элементов — базовых элементов программ для синтеза ЕПС. Снижение влияния достигается также в том случае, если такие элементы создаются отдельно от синтеза ЕПС на конкретном инструментальном средстве. Влияние человека на устойчивость в последнем случае при синтезе новых версий СПО АСПВБ для новых информационных технологий будет значительно ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. — М. : МИПБ МВД России, 1997. — 164 с.
2. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Фёдоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
3. Крючков А. В. Обобщение опыта синтеза специального программного обеспечения на различных инструментальных средствах // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 3(61). — С. 252–263. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/41-03-15.ttb.pdf> (дата обращения: 03.06.2018).
4. Крючков А. В. Рекомендации по применению методов синтеза специального программного обеспечения крупной автоматизированной системы управления предприятием // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 5(63). — С. 259–264. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/19-05-15.ttb.pdf> (дата обращения: 03.06.2018).
5. Крючков А. В. Методология универсализации синтеза специального программного обеспечения крупной автоматизированной системы управления предприятием // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 3(61). — С. 264–268. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/40-03-15.ttb.pdf> (дата обращения: 03.06.2018).
6. Дейкстра Э., Болье Л., Хоор К., Дал У.-И. Языки программирования / Под ред. Ф. Женнои; пер. с англ. — М. : Мир, 1972. — 410 с.
7. Оценка и аттестация зрелости процессов создания и сопровождения программных средств и информационных систем (ISO/IEC TR 15504—CMM) / Пер. с англ. — М. : Книга и бизнес, 2001. — 348 с.
8. Paulk M. C., Curtis B., Chrissis M. B., Weber C. V. Capability maturity model for software, Version 1.1. — Pittsburgh, Pennsylvania : Software Engineering Institute, 1993. 83 p. DOI: 10.21236/ada263403.
9. O'Regan G. Capability maturity model integration // Introduction to software process improvement. Undergraduate topics in computer science. — London : Springer, 2011. — P. 43–65. DOI: 10.1007/978-0-85729-172-1_3.
10. Blaschek G. Object-oriented programming. — Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 1994. — 335 p. DOI: 10.1007/978-3-642-78077-6.
11. Sherrell L. Object-oriented (OO) programming // Encyclopedia of sciences and religions / Runehov A. L. C., Oviedo L. (eds). — Dordrecht : Springer, 2013. — P. 1544–1548. DOI: 10.1007/978-1-4020-8265-8_200283.
12. Умрихин Ю. Д. Оптимизация сложных информационных систем. — М. : Минрадиопром СССР, 1983. — 125 с.
13. Клименко И. С. Теория систем и системный анализ. — М. : РосНОУ, 2014. — 264 с.

14. Шиханович Ю. А. Введение в современную математику. Начальные понятия. — М. : Наука, 1965. — 376 с.
15. Макконнелл С. Профессиональная разработка программного обеспечения: сокращение сроков, повышение качества продукта, больше удачных проектов, расширение возможностей успешной карьеры / Пер. с англ. — СПб. : Символ&Плюс, 2006. — 240 с.
16. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. — М. : Финансы и статистика, 2006. — 545 с.
17. Bass L., Clements P., Kazman R. Software architecture in practice. — 3rd Edition. — Addison-Wesley Professional, 2013. — 640 p.
18. Rozanski N., Woods E. Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives. — 2nd Edition. — Addison-Wesley, 2012. — 678 p.
19. Крючков А. В. Оценка трудоемкости методов универсализации синтеза специального программного обеспечения по методике оценки COCOMO // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 4(62). — С. 282–286. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/43-04-15.ttb.pdf> (дата обращения: 03.06.2018).
20. Almeida J. B., Frade M. J., Pinto J. S., Melo de Sousa S. Rigorous Software Development. An introduction to program verification. — London : Springer-Verlag, 2011. — 263 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-018-2.
21. Crookshanks E. Practical software development techniques. — Berkeley : Apress, 2014. — 189 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-0728-4.
22. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования, сер. Адаптивные и интеллектуальные системы / Пер. с англ. — М. : Бином, 2005. — 416 с.
23. Gudin S., Khabibulin R., Shikhalev D. Searching the optimal combination of fire risks reducing measures at oil and gas processing facilities with the use of genetic algorithm // Proceedings of the 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (Porto, Portugal, February 24–26, 2017). — 2017. — Vol. 2. — P. 489–496. DOI: 10.5220/0006188904890496.
24. Kramer O. Genetic algorithms // Genetic Algorithm Essentials. Studies in Computational Intelligence. — Cham : Springer, 2017. — Vol. 679. — P. 11–19. DOI: 10.1007/978-3-319-52156-5_2.

Материал поступил в редакцию 10 июня 2018 г.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Крючков А. В., Михайлов К. А., Нгуен Туан Ань. Модель оценки влияния человека на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 53–59. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.53-59.

English

MODEL FOR ASSESSING THE HUMAN INFLUENCE ON THE SUSTAINABILITY OF THE SPECIAL SOFTWARE OF THE COMPUTER-AIDED FIRE-EXPLOSION SAFETY SYSTEMS

TOPOLSKIY N. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

KRYUCHKOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Department of Complex Security of Critical Objects, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: kruchkov.a@gubkin.ru)

MIKHAYLOV K. A., Postgraduate Student of Faculty of Scientific and Pedagogical Staff, Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: mihkir.94@mail.ru)

NGUYEN TUAN ANH, Candidate of Technical Sciences, Head of Faculty, Institute of Fire Safety, Ministry of Public Security (Huat Zui Tien St., 243, Hanoi, 100000, Vietnam; e-mail: tuan_moskva@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The oil and gas industry plays a key role in the Russian economy. In this regard, it is necessary to ensure the safety of facilities in this industry, in particular the fire safety of oil refineries. Computer-aided fire-explosion safety systems play an important role in protecting objects and detecting fires on them. At the same time, a key element in these systems is special software and the success of the computer-aided fire-explosion safety system depends on it. Since the software is developed and operated by a person, there is a scientific and technical problem, which is expressed in determining the function of human influence on the special software of computer-aided fire-explosion safety systems.

The work purpose is to assess the impact of human (programmer) on the stability of special software for computer-aided fire-explosion safety systems of oil refineries.

Methods. The article presents a model of human impact assessment on the stability of special software for computer-aided fire-explosion safety systems. The model is based on the methods of system analysis and object-oriented programming.

Results. A mathematical model of human impact assessment on the stability of special software for computer-aided fire-explosion safety systems is developed. This model allows us to obtain a formula for quantitative evaluation of the function of human influence on special software in its synthesis.

Discussion. The article shows that the reduction of human (programmer) influence on the stability of special software of computer-aided fire and explosion safety systems lies in the plane of increasing the number of reusable elements — the basic elements of programs for the synthesis of single software systems. The reduction of influence is also achieved if such elements are created separately from the synthesis of single software systems on a particular tool.

Conclusions. The results obtained by the authors can be used to assess the impact of human (programmer) on the stability of special software for computer-aided fire-explosion safety systems of oil refineries. In the synthesis of single software systems it is necessary to repeatedly use the basic elements of the programs. At the same time, the human impact on the stability in the synthesis of new versions of special software for computer-aided fire-explosion safety systems will be significantly lower.

Keywords: special software, computer-aided fire-explosion safety systems, single software system, oil refineries, object oriented programming.

REFERENCES

1. Topolskiy N. G. *Osnovy avtomatizirovannykh sistem pozharovzryvobezопасnosti obyektov* [Basics of computer-aided fire and explosion safety systems]. Moscow, Fire Safety Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1997. 164 p. (in Russian).
2. Abrosimov A. A., Topolskiy N. G., Fedorov A. V. *Avtomatizirovannyye sistemy pozharovzryvobezопасnosti neftepererabatyvayushchikh proizvodstv* [Computer-aided fire and explosion safety systems of petroleum refineries]. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p. (in Russian).
3. Kruchkov A. V. Summarizing the experience of synthesis special software for different programming languages. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezопасnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 3(61), pp. 252–263 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/41-03-15.ttb.pdf> (Accessed 3 June 2018).
4. Kruchkov A. V. Recommendations for use of synthesis methods of special software of large automated control systems of enterprise. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezопасnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 5(63), pp. 259–264 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/19-05-15.ttb.pdf> (Accessed 3 June 2018).
5. Kruchkov A. V. Universal application synthesis methodology of special software for large automated enterprise control system. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezопасnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 3(61), pp. 264–268 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/40-03-15.ttb.pdf> (Accessed 3 June 2018).
6. Dijkstra E. W., Beaulieu L., Hoare C. A. R., Dahl O.-J. Programming languages. London, 1968 (Russ. ed.: Dijkstra E. W., Beaulieu L., Hoare C. A. R., Dahl O.-J. *Yazyki programmirovaniya*. Moscow, Mir Publ., 1972. 410 p.).

7. ISO/IEC TR 15504:1998. *Information Technology—Software Process Assessments. Parts 1–9*. Geneva, International Organization for Standardization, 1998 (Russ. ed. ISO/IEC TR 15504–CMM. Otsenka i attestatsiya zrelosti protsessov sozdaniya i soprovozhdeniya programmnykh sredstv i informatsionnykh system. Moscow, Kniga i biznes Publ., 2001. 348 p.).
8. Paulk M. C., Curtis B., Chrissis M. B., Weber C. V. *Capability maturity model for software, Version 1.1*. Pittsburgh, Pennsylvania, Software Engineering Institute, 1993. 83 p. DOI: 10.21236/ada263403.
9. O'Regan G. Capability maturity model integration. In: *Introduction to Software Process Improvement. Undergraduate Topics in Computer Science*. London, Springer, 2011, pp. 43–65. DOI: 10.1007/978-0-85729-172-1_3.
10. Blaschek G. *Object-oriented programming*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1994. 335 p. DOI: 10.1007/978-3-642-78077-6.
11. Sherrell L. Object-oriented (OO) programming. In: Runehov A. L. C., Oviedo L. (eds). *Encyclopedia of Sciences and Religions*. Dordrecht, Springer, 2013, pp. 1544–1548. DOI: 10.1007/978-1-4020-8265-8_200283.
12. Umrikhin Yu. D. *Optimizatsiya slozhnykh informatsionnykh system* [Optimization of complex information systems]. Moscow, Minradioprom SSSR Publ., 1983. 125 p. (in Russian).
13. Klimenko I. S. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [Systems theory and system analysis]. Moscow, Russian New University Publ., 2014. 264 p. (in Russian).
14. Shikhanovich Yu. A. *Vvedeniye v sovremennuyu matematiku. Nachalnyye ponyatiya* [Introduction to modern mathematics. Initial concepts]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 376 p. (in Russian).
15. McConnell S. *Professional software development: shorter schedules, higher quality products, more successful projects, enhanced careers*. Addison-Wesley, 2004. 243 p. (Russ. ed.: McConnell S. *Professionalnaya razrabotka programmnoy obespecheniya: sokrashcheniye srokov, povysheniye kachestva produkta, bolshe udachnykh proyektov, rasshireniye vozmozhnostey uspezhnoy karyery*. Saint Petersburg, Simvol&Plyus Publ., 2006. 240 p.).
16. Vendrov A. M. *Proyektirovaniye programmnoy obespecheniya ekonomicheskikh informatsionnykh sistem* [The software design of economic information systems]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2006. 545 p. (in Russian).
17. Bass L., Clements P., Kazman R. *Software architecture in practice*. 3rd Edition. Addison-Wesley Professional, 2013. 640 p.
18. Rozanski N., Woods E. *Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives*. 2nd Edition. Addison-Wesley, 2012. 678 p.
19. Kruchkov A. V. Assessment of laboriousness universalization methods of synthesis of the special software by COMOCOMO estimation methods. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 4(62), pp. 282–286 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/43-04-15.ttb.pdf> (Accessed 3 June 2018).
20. Almeida J. B., Frade M. J., Pinto J. S., Melo de Sousa S. *Rigorous Software Development. An introduction to program verification*. London, Springer-Verlag, 2011. 263 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-018-2.
21. Crookshanks E. *Practical software development techniques*. Berkeley, Apress, 2014. 189 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-0728-4.
22. Liu B. *Theory and practice of uncertain programming*. Heidelberg, Physica-Verlag, 2002. 388 p. DOI: 10.1007/978-3-7908-1781-2 (Russ. ed.: Liu B. *Teoriya i praktika neopredelennogo programmirovaniya*. Moscow, Binom Publ., 2005. 416 p.).
23. Gudin S., Khabibulin R., Shikhalev D. Searching the optimal combination of fire risks reducing measures at oil and gas processing facilities with the use of genetic algorithm. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence* (Porto, Portugal, February 24–26, 2017), 2017, vol. 2, pp. 489–496. DOI: 10.5220/0006188904890496.
24. Kramer O. Genetic algorithms. In: *Genetic Algorithm Essentials. Studies in Computational Intelligence*. Cham, Springer, 2017, vol 679, pp. 11–19. DOI: 10.1007/978-3-319-52156-5_2.

For citation: Topolskiy N. G., Kryuchkov A. V., Mikhaylov K. A., Nguyen Tuan Anh. Model for assessing the human influence on the sustainability of the special software of the computer-aided fire-explosion safety systems. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7–8, pp. 53–59 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.53-59.

С. Ю. БУТУЗОВ, д-р техн. наук, доцент, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: butuzov_s_yu@mail.ru)

А. В. КРЮЧКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности критически важных объектов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1; e-mail: kruchkov.a@gubkin.ru)

И. В. САМАРИН, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1; e-mail: ivs@gubkin.ru)

УДК 681.5

МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАСЧЕТА СОВОКУПНОГО ФАКТОРА ВЛИЯНИЯ ПЕРСОНАЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Проведен анализ особенностей создания и функционирования специального программного обеспечения (СПО) в автоматизированных системах пожаровзрывобезопасности (АСПВБ). Изучены и проанализированы особенности синтеза специального программного обеспечения для АСПВБ. Приведены особенности разделения сложных программных продуктов на единичные программные системы, а также исследованы условия протекания процесса синтеза программных проектов. Показана необходимость и целесообразность применения методологии стратегического планирования для обеспечения эффективной организации синтеза СПО и обеспечения его устойчивого функционирования. Предложен метод количественного расчета совокупного фактора влияния персонала на устойчивость СПО для использования в автоматизированных системах пожаровзрывобезопасности в целях обеспечения их устойчивой работы.

Ключевые слова: автоматизация; пожаровзрывобезопасность; специальное программное обеспечение; синтез; экспертная оценка; нефтеперерабатывающее производство; планирование; устойчивость; программирование; трудозатраты, трудоемкость.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.60-66

Введение

Научно-технический прогресс диктует все новые и новые требования к условиям и особенностям работы современных производств. Так, уже почти повсеместно для их устойчивой работы в современных условиях используются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), неотъемлемой составной частью которых является специальное программное обеспечение (СПО) [1–3].

Нефтеперерабатывающие производства (НПП) — важная составляющая современной нефтегазовой промышленности. В состав АСУТП этих производств входят, помимо прочего, автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ). Данные системы состоят из обеспечивающих систем и функциональных автоматизированных систем (АС) ниже-

стоящего уровня: АС предотвращения пожаров и взрывов, АС пожаровзрывозащиты, АС общего назначения [4].

Как правило, устойчивая работа перечисленных АС обеспечивается в настоящее время за счет устойчивой работы СПО, поэтому следует особое внимание уделить методам его синтеза [1]. Для крупных предприятий синтез СПО АСПВБ представляет собой крайне трудную и нетривиальную задачу [5]. Учитывая, что СПО АСПВБ является сложным интеллектуальным продуктом, следует разделить его на составные части — единичные программные системы (ЕПС) [3, 6]. ЕПС должны выполнять определенные функции операторов АСПВБ на автоматизированных рабочих местах (АРМ) в отдельных помещениях или цехах НПП. При этом особое внимание необходимо уделить минимизации влияния персонала и разработчиков на ЕПС [7].

Общих функциональных задач у ЕПС нет, так как каждая из них отвечает за свой небольшой участок. Однако необходимо обеспечить функциональность ЕПС таким образом, чтобы все они обеспечивали устойчивую работу АСПВБ в целом, особенно при возникновении нештатных ситуаций.

Предотвращение пожаров и взрывов на НПП — составная часть работы всех вместе взятых ЕПС в СПО АСПВБ. Поэтому необходимо обеспечить такие условия синтеза ЕПС, которые позволят добиться нужной устойчивости в их работе [8].

Целью настоящей статьи является описание предлагаемого количественного расчета совокупного фактора влияния персонала на устойчивость СПО АСПВБ. Достижение поставленной цели обеспечивается путем оценки трудозатрат на синтез ЕПС. Полученные оценки могут охарактеризовать степень устойчивости той или иной ЕПС к деструктивному влиянию специалистов, ее синтезирующих. Кроме того, значимость мероприятий по выявлению трудозатрат на синтез ЕПС предложено определять с помощью методов стратегического планирования [9–11].

Методы исследования

Так как ЕПС представляет собой программу, простая формула для расчета трудозатрат при синтезе программного проекта единичной программной системы (ПП ЕПС) может выглядеть так:

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{сбп}} + Z_{\text{ЕПС}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{общ}}$ — общие трудозатраты на реализацию ПП ЕПС;

$Z_{\text{сбп}}$ — затраты на реализацию инструментария;

$Z_{\text{ЕПС}}$ — трудозатраты на реализацию ЕПС.

Под трудозатратами здесь и далее будем понимать безразмерные усилия, приложенные программистом при выполнении какой-либо части работы. Условия протекания процесса синтеза программного проекта ЕПС для программиста можно разделить на технические и организационные [12]. При изменении технических (но не организационных) начальных условий данного процесса (замена программиста, изменение состава команды программистов, инструментального средства при реализации ЕПС) изменятся и трудозатраты [13]. Тогда

$$Z'_{\text{общ}} = Z'_{\text{сбп}} + Z'_{\text{ЕПС}}, \quad (2)$$

где $Z'_{\text{общ}}$ — общие трудозатраты на реализацию ПП ЕПС в новых условиях;

$Z'_{\text{сбп}}$ — затраты на реализацию другого инструментария;

$Z'_{\text{ЕПС}}$ — другие трудозатраты на реализацию ЕПС в новых условиях.

Сравнение $Z_{\text{ЕПС}}$ и $Z'_{\text{ЕПС}}$ показывает, что

$$Z_{\text{ЕПС}} = F(Z_{\text{сбп}}). \quad (3)$$

Иными словами, трудозатраты, необходимые для создания ЕПС, зависят от того, насколько “хорошо” был построен инструментарий. Данная зависимость может не быть линейной и складываться из многих факторов параметрического характера. Во всяком случае трудозатраты в формуле (3) напрямую зависят от полноты составления универсального набора элементов интерфейса, дерева информационной схемы приложения и проработки инструментария программистом [14].

Анализ простых формул (1)–(3) и их смыслового содержания показывает, что если $Z_{\text{сбп}}$ и $Z'_{\text{сбп}}$ не отличаются друг от друга или отличаются незначительно, то разница между трудозатратами на ПП ЕПС $Z_{\text{общ}}$ и $Z'_{\text{общ}}$ может быть значительной. Причиной этому может служить наличие множества требований по атрибутам информационной единицы хранения (ИЕХ) [3, 15], а также большого количества отчетов и данных в них, большого объема расчетов и данных промежуточного анализа. Однако при наличии инструментария программиста трудозатраты и время реализации ПП ЕПС начинают зависеть только от параметра $Z_{\text{ЕПС}}$.

Рассмотрим более детально процесс синтеза программистом ЕПС без использования указанного инструментария. При работе в студии программного инструментального средства программист при кодировании программного обеспечения вынужден описывать большое количество мелких свойств и перенастраивать (подстраивать) множество методов объектов (компонент) [2, 5]. Проиллюстрировать данные действия можно конкретным частным примером при реализации приложения с использованием системы управления базами данных (СУБД). Опустим некоторые детали и сосредоточимся на части реализации, связанной с вводом и корректировкой данных в одно из полей [3]. Для примера можно взять студию разработки одного из инструментальных средств Delphi или Visual Basic.

В обоих случаях после описания базы данных (БД) в конструкторе или проводнике, когда структура информации, ограничения и правила сортировки уже описаны на этапе проектирования БД, при реализации системы ввода данных в БД необходимо в студии разработчика создать некую форму, позволяющую в интерактивном режиме манипулировать данными в БД. Для этого необходимо при классическом способе разработки, широко описываемом в технической литературе [16, 17], поместить на форму ввода несколько (от 20 до 100 в реальных ЕПС) объектов управления, связанных с полями БД. Но это только видимая часть айсберга. Реально же, прежде

чем описывать связь конкретного объекта визуализации информации в поле БД с полем БД в файле на диске, для реализации связи с БД необходимо [17]:

- установить соединение с БД;
- открыть сессию;
- провести запрос по отбору соответствующей информации;
- установить (для первичного ввода данных в поле) данные по умолчанию;
- описать объекты, связанные с реализацией данных функций, для всего набора полей и для некоторых из них отдельно и т. д.

Без студии эта часть операций выполняется при помощи операторов языка SQL. Общий объем такой работы может быть оценен 5–7 строками кода на одно поле таблицы БД [16]. Следует отметить, что реальная ЕПС содержит десятки таблиц БД.

Предварительная работа, выполняемая для реализации вроде бы простой функции, становится иногда для программистов в ПП ЕПС непреодолимым препятствием, потому что идеология нового инструментального средства (парадигма программирования) не соответствует его предыдущему опыту [15]. В результате программирование простых функций и их связывание с соответствующей информацией на диске превращается в длительное чтение программной документации по соответствующему вопросу, что увеличивает $Z_{сбп}$ в разы. Исходя из всего этого, трудозатраты на описание поведения объектов управления на одной экранной форме в ПП ЕПС можно смело умножать на пять.

Предположим, решение конкретного вопроса программистом найдено и связующие функции в ЕПС описаны. Тем не менее задача описания ввода данных по-прежнему актуальна и требует решения. Для связи объекта управления (ОБУ) с полем БД на диске следует описать поведение объекта [1]. Для этого необходимо описать около 10 свойств и написать 2–3 метода. “Написать” в данном случае означает создание дополнительной программы, реализующей заданную функциональность, связанную с конкретным свойством (событием или другой характеристикой) объекта. Такая программа может представлять собой процедуру или набор из нескольких процедур (функций, триггеров СУБД и т. п.).

Таким образом, трудозатраты на описание одного ОБУ в ПП ЕПС, исходя из экспертных оценок, можно определить по следующей формуле:

$$Z_{\text{ОБУ ЕПС}} = 10Z_{\text{св}} + 2Z_{\text{мет}}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{ОБУ ЕПС}}$ — трудозатраты на реализацию ОБУ на форме;

$Z_{\text{св}}$ — трудозатраты на описание одного свойства;

$Z_{\text{мет}}$ — трудозатраты на описание одного метода.

При этом если свойство может быть описано во временном интервале, который составляет от нескольких десятков до нескольких сотен секунд, то описание методов может потребовать времени до нескольких десятков минут или нескольких часов. Это зависит от степени знания “матчасти” (идеологии программирования на данном инструментальном средстве и методов разработки программ с его помощью) программистом и необходимости ее оперативного переучивания [18]. Разброс по времени и по трудоемкости исполнения ОБУ заставляет говорить о средних величинах этих характеристик в количественных формулах.

Средняя трудоемкость (математическое ожидание трудоемкости) создания ОБУ на конкретной форме в конкретной ЕПС может быть вычислена по формуле

$$Z_{\text{форм.ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{\text{ОБУ ЕПС } i}, \quad (5)$$

где $Z_{\text{форм.ср}}$ — средние трудозатраты на реализацию ОБУ формы;

N — число ОБУ на форме;

$Z_{\text{ОБУ ЕПС } i}$ — трудозатраты на описание одного ОБУ на форме.

Число форм для ввода и вывода информации определяется в соответствии с техническим заданием на ПП ЕПС. Для каждой конкретной ЕПС оно свое. Помимо форм, в состав ЕПС входят и другие компоненты, поэтому общая трудоемкость $Z_{\text{ЕПС}}$ может быть определена по формуле

$$Z_{\text{ЕПС}} = N_{\text{форм}} Z_{\text{форм}} + N_{\text{отч}} Z_{\text{отч}} + N_{\text{расч}} Z_{\text{расч}} + Z_{\text{БД}} + Z_{\text{доп.функ}}, \quad (6)$$

где $N_{\text{форм}}$, $N_{\text{отч}}$, $N_{\text{расч}}$ — число соответственно форм, отчетов и расчетов;

$Z_{\text{форм}}$, $Z_{\text{отч}}$, $Z_{\text{расч}}$ — трудозатраты на реализацию соответственно одной формы, одного отчета, одного расчета;

$Z_{\text{БД}}$ — трудозатраты на реализацию структуры и администрирование БД и ЕПС;

$Z_{\text{доп.функ}}$ — трудозатраты на реализацию остальных компонентов ЕПС, не включающих в себя перечисленные в данной формуле объекты компонентов.

Формулы для расчета трудоемкостей для отчетов $Z_{\text{отч}}$ аналогичны формулам (5) и (4). Трудозатраты по каждой из них определяются как суммы трудозатрат отдельных составных частей по каждому из входящих в них элементов. Так, трудозатраты на один отчет могут рассчитываться следующим образом:

$$Z_{\text{отч}} = Z_{\text{мод}} + N_{\text{эл}} Z_{\text{эл}}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{отч}}$ — трудозатраты на реализацию одного отчета в ЕПС;

$Z_{\text{мод}}$ — трудозатраты на создание электронного бланка отчета;

$N_{\text{эл}}$ — число элементов вывода (ЭВ) в данном отчете;

$Z_{\text{эл}}$ — трудозатраты на описание одного элемента вывода.

Под элементом вывода в отчете подразумевается одно поле для вывода информации (например, в одной строке и в одной графе для отчета табличной формы). ЭВ может содержать информацию из одного поля БД, обработанную каким-либо образом; сумму полей; данные одной из переменных, вводимых непосредственно при выводе отчета; данные связанного с этим полем расчета, определяемого в паспорте ИЕХ. Как и для элемента управления, для элемента вывода могут быть рассчитаны трудозатраты на его создание. Они также определяются на основании экспертных оценок:

$$Z_{\text{эл}} = N_{\text{св}} Z_{\text{св}} + N_{\text{мет}} Z_{\text{мет}}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{эл}}$ — трудозатраты на описание одного ЭВ;

$N_{\text{св}}$ — среднее число изменяемых свойств ЭВ в данном отчете;

$Z_{\text{св}}$ — средние трудозатраты на описание одного свойства ЭВ;

$N_{\text{мет}}$ — среднее число создаваемых методов ЭВ в данном отчете;

$Z_{\text{мет}}$ — средние трудозатраты на создание одного метода ЭВ.

Трудозатраты на реализацию структуры и администрирование БД и ЕПС $Z_{\text{БД}}$ могут быть вычислены по формуле

$$Z_{\text{БД}} = Z_{\text{дисп}} + Z_{\text{реал}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{дисп}}$ — трудозатраты на описание всех данных в ПП ЕПС;

$Z_{\text{реал}}$ — средние трудозатраты на реализацию этих данных в СУБД.

Формула для расчета трудоемкостей для $Z_{\text{расч}}$ может быть записана следующим образом:

$$Z_{\text{расч}} = N_{\text{эл}} Z_{\text{эл}}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{расч}}$ — трудозатраты на реализацию одного расчета в ЕПС;

$Z_{\text{эл}}$ — средние трудозатраты на описание одного расчетного элемента;

$N_{\text{эл}}$ — среднее число расчетных элементов в данном расчете.

Итак, рассмотрен в общем виде количественный расчет совокупного фактора влияния персонала

на устойчивость СПО АСПВБ на основе оценок трудозатрат на синтез ПП ЕПС. Данные формулы могут использоваться для расчета калькуляций на ЕПС (отдельные составные части СПО АСПВБ), трудозатрат разработчиков и степени влияния персонала на разрабатываемое СПО в АСПВБ с высокой точностью. Это дает возможность определять сметы на синтезируемое СПО, а также однозначно оценить реальное влияние человека на СПО АСПВБ и, следовательно, повысить его устойчивость.

Анализ результатов

Таким образом, одна из задач проводимых расчетов — установить количественные показатели влияния человека на синтезируемое в АСПВБ СПО. Принимая во внимание, что количество ПП ЕПС в СПО АСПВБ может исчисляться десятками тысяч единиц, а руководители проектов по синтезу СПО должны нести ответственность за сбои, применение данной технологии оценки в организации процесса синтеза СПО поможет им правильно распределить ресурсы. Логично при этом использовать методологию стратегического планирования [9–11]. Ее применение в том виде, в каком она описана в данных источниках, дает возможность ответственным за процесс лицам детально его контролировать. Причем это становится возможным даже при резком возрастании объемов производственных мощностей и обрабатываемой информации, а также ограничений на применяемое оборудование на пожароопасных объектах, что позволит обеспечить достижение необходимого уровня комплексной безопасности в АСПВБ на НПП [19, 20].

Рассчитанные показатели значимостей мероприятий по определению трудозатрат на все ПП ЕПС могут использоваться в качестве основы для анализа готовности к использованию СПО АСПВБ на НПП.

Заключение

Таким образом, целесообразно включить описанную технологию оценки трудозатрат с использованием методов стратегического планирования в составные части АСПВБ: АС предотвращения пожаров и взрывов, АС пожаровзрывозащиты и АС общего назначения [4]. Предложенный метод количественного расчета совокупного фактора влияния персонала на устойчивость специального программного обеспечения позволит обеспечить устойчивую работу АСПВБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крючков А. В.* Достоинства и недостатки современных методов синтеза специального программного обеспечения (часть 1) // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 5(63). — С. 250–258.

2. Крючков А. В. Достоинства и недостатки современных методов синтеза специального программного обеспечения (часть 2) // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 6(64). — С. 181–188.
3. Крючков А. В. Универсальный перечень семантических элементов интерфейса в специальном программном обеспечении // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — Вып. 1(65). — С. 237–241.
4. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
5. Bass L., Clements P., Kazman R. Software architecture in practice. — 3rd ed. — Boston : Addison-Wesley Professional, 2012. — 640 p.
6. Lieberherr K. J. Connections between demeter/adaptive programming and aspect-oriented programming (AOP). URL: www.ccs.neu.edu/home/lieber/connection-to-aop.html (дата обращения: 10.06.2018).
7. Ильин В. Д. Система порождения программ. — М. : Наука, 1989. — 264 с.
8. Lee W., Cheon M., Hyun C.-H., Park M. Development of building fire safety system with automatic security firm monitoring capability // Fire Safety Journal. — 2013. — Vol. 58. — P. 65–73. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.01.003.
9. Гриняев С. Н., Калашиников П. К., Орлов А. И., Самарин И. В., Фомин А. Н., Юнкин А. Г. Научно-методический аппарат антикризисного стратегического планирования. — М. : РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2015. — 410 с.
10. Самарин И. В. Стратегическое планирование: модифицированный метод парных сравнений для задач высокой размерности // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. — 2016. — № 1/282. — С. 121–134.
11. Самарин И. В. АСУ стратегического планирования на предприятии: уточнение методологических и инструментальных основ схемы планирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2017. — № 2. — С. 31–44.
12. Абельсон Х., Сассман Д. Дж. Структура и интерпретация компьютерных программ / Пер. с англ. — М. : Добросвет, 2006. — 608 с.
13. Simos M., Creps D., Klingler C., Lavine L., Allemang D. Software Technology for Adaptable Reliable Systems (STARS). Organization Domain Modeling (ODM) Guidebook. Version 2.0 (STARS-VC-A025/001/00). — Manassas, VA : Lockheed Martin Tactical Defense Systems, 1996. — 509 p.
14. Mayer Richard J. IDEF family of methods for concurrent engineering and business re-engineering applications. — Texas : Knowledge Based Systems Inc., 1992. — 77 p.
15. Leffingwell D., Widrig D. Managing Software Requirements — a unified approach // Object Technology Series / Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. (eds.). — Boston : Addison-Wesley, 2000. — 528 p.
16. Date C. J. SQL and relational theory: how to write accurate SQL code. — 3rd ed. — Sebastopol, CA : O'Reilly Media, Inc., 2015. — 582 p.
17. Ardeleanu S. Relational database programming: a set-oriented approach. — Berkeley, CA : Apress, 2016. — 149 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-2080-1.
18. Умрихин Ю. Д. Оптимизация сложных информационных систем. — М. : Минрадиопром СССР, 1983. — 125 с.
19. Beata P. A., Jeffers A. E., Kamat V. R. Real-time fire monitoring and visualization for the post-ignition fire state in a building // Fire Technology. — 2018. — Vol. 54, Issue 4. — P. 995–1027. DOI: 10.1007/s10694-018-0723-1.
20. Novak T., Gerstinger A. Safety- and security-critical services in building automation and control systems // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2010. — Vol. 57, No. 11. — P. 3614–3621. DOI: 10.1109/tie.2009.2028364.

Материал поступил в редакцию 25 июня 2018 г.

Для цитирования: Бутузов С. Ю., Крючков А. В., Самарин И. В. Метод количественного расчета совокупного фактора влияния персонала на устойчивость специального программного обеспечения автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 60–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.60-66.

METHOD OF QUANTITATIVE CALCULATION OF THE TOTAL FACTOR IMPACT OF PERSONNEL STABILITY SPECIAL SOFTWARE OF THE AUTOMATED SYSTEMS OF FIRE AND EXPLOSION

BUTUZOV S. Yu., Doctor of Technical Sciences, Docent, Honoured Worker of Higher School of the Russian Federation, Professor of Information Technologies Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: butuzov_s_yu@mail.ru)

KRYUCHKOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Department of Complex Security of Critical Objects, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: kruchkov.a@gubkin.ru)

SAMARIN I. V., Candidate of Technical Sciences, Docent, Assistant Professor of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: ivs@gubkin.ru)

ABSTRACT

Introduction. This paper considers the analysis of features of creation and functioning of the special software in the automated systems of fire and explosion safety. There is generalized structure of the automated systems of fire and explosion safety in the introduction: the automated system of prevention of fires and explosions, the automated system of fire and explosion protection, the automated system of general purpose. It is necessary to keep in mind that automated system of fire and explosion protection is a part automated control system of technological process.

Methodology. The features of synthesis of special software for automated fire and explosion safety systems for ensuring stable operation of special software are studied and analyzed. The features of division of complex software products into single software systems are given. Single software systems must perform certain functions of operators of the automated system of fire and explosion safety in automated workplaces in separate rooms or workshops of oil refining production. The impact of developers on individual software systems is very large. There are no common functional tasks for individual software systems, as each of them is responsible for its own small area. It is important that all individual software systems ensure stable operation of the automated fire and explosion safety system as a whole, especially in certain situations. For this purpose, the paper proposes a method of quantitative calculation of the total factor of personnel influence on the stability of a special software for use in automated fire and explosion safety systems in order to ensure their stable operation during the synthesis. Moreover, to estimate the total work scope the example of application implementation using a database management system is considered. This example shows the process of synthesis of single software systems.

Results. Given the large number of automated workplaces in the operation of automated fire and explosion safety systems, the necessity and expediency of using the methodology of strategic planning to ensure effective organization of the synthesis is shown.

Conclusion. The proposed method of quantitative calculation of the total factor of personnel influence on the stability of a special software for use in automated fire and explosion safety systems will ensure their stable operation. This method is recommended for using in the component of the automated systems of fire and explosion safety on oil refining production.

Keywords: automation; fire and explosion safety; special software; synthesis; expert evaluation; oil refining production; planning; stability; programming; labor expenditures; laboriousness.

REFERENCES

1. Kruchkov A. V. Advantages and disadvantages of modern synthesis methods of special software (part 1). *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 5(63), pp. 250–258 (in Russian).

2. Kryuchkov A. V. Advantages and disadvantages of modern synthesis methods of special software (part 2). *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 6(64), pp. 181–188 (in Russian).
3. Kryuchkov A. V. Universal set of interface semantic unit in the special software. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2016, issue 1(65), pp. 237–241 (in Russian).
4. Abrosimov A. A., Topolskiy N. G., Fedorov A. V. *Avtomatizirovannyye systemy pozharovzryvbezopasnosti neftepererabatyvayushchikh proizvodstv* [Computer-aided fire and explosion safety systems of petroleum refineries]. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p. (in Russian).
5. Bass L., Clements P., Kazman R. *Software architecture in practice*. 3rd ed. Boston, Addison-Wesley Professional, 2012. 640 p.
6. Lieberherr K. J. *Connections between demeter/adaptive programming and aspect-oriented programming (AOP)*. Available at: www.ccs.neu.edu/home/lieber/connection-to-aop.html (Accessed 10 June 2018).
7. Ilin V. D. *Sistema porozhdeniya programm* [The system of program generating]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 264 p. (in Russian).
8. Lee W., Cheon M., Hyun C.-H., Park M. Development of building fire safety system with automatic security firm monitoring capability. *Fire Safety Journal*, 2013, vol. 58, pp. 65–73. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2013.01.003.
9. Grinyaev S. N., Kalashnikov P. K., Orlov A. I., Samarin I. V., Fomin A. N., Yunkin A. G. *Nauchno-metodicheskiy apparat antikrizisnogo strategicheskogo planirovaniya* [Scientific and methodical apparatus of anti-crisis strategic planning]. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas Publ., 2015. 410 p. (in Russian).
10. Samarin I. V. Strategic planning: modified method of pair comparisons for problems of high dimension. *Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I. M. Gubkina / Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2016, no. 1/282, pp. 121–134 (in Russian).
11. Samarin I. V. ACS strategic planning at the enterprise: refinement of methodological and instrumental basics of planning schemes. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki / Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Science*, 2017, no. 2, pp. 31–44 (in Russian).
12. Abelson H., Sussman G. J. *Structure and interpretation of computer programs*. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1996. 634 p. (Russ. ed.: Abelson H., Sussman G. J. *Struktura i interpretatsiya kompyuternikh programm*. Moscow, Dobrosvet Publ., 2006. 608 p.).
13. Simos M., Creps D., Klingler C., Lavine L., Allemang D. *Software Technology for Adaptable Reliable Systems (STARS). Organization Domain Modeling (ODM) Guidebook. Version 2.0 (STARS-VC-A025/001/00)*. Manassas, VA, Lockheed Martin Tactical Defense Systems, 1996. 509 p.
14. Mayer Richard J. *IDEF family of methods for concurrent engineering and business re-engineering applications*. Texas, Knowledge Based Systems Inc., 1992. 77 p.
15. Leffingwell D., Widrig D. Managing Software Requirements — a unified approach. In: Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. (eds.). *Object Technology Series*. Boston, Addison-Wesley, 2000. 528 p.
16. Date C. J. *SQL and relational theory: how to write accurate SQL code*. 3rd ed. Sebastopol, CA, O'Reilly Media, Inc., 2015. 582 p.
17. Ardeleanu S. *Relational database programming: a set-oriented approach*. Berkeley, CA, Apress, 2016. 149 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-2080-1.
18. Umrikhin Yu. D. *Optimizatsiya slozhnykh informatsionnykh system* [Optimization of complex information systems]. Moscow, USSR Ministry of Radio Industry Publ., 1983. 125 p. (in Russian).
19. Beata P. A., Jeffers A. E., Kamat V. R. Real-time fire monitoring and visualization for the post-ignition fire state in a building. *Fire Technology*, 2018, vol. 54, issue 4, pp. 995–1027. DOI: 10.1007/s10694-018-0723-1.
20. Novak T., Gerstinger A. Safety- and security-critical services in building automation and control systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, vol. 57, no. 11, pp. 3614–3621. DOI: 10.1109/tie.2009.2028364.

For citation: Butuzov S. Yu., Kryuchkov A. V., Samarin I. V. Method of quantitative calculation of the total factor impact of personnel stability special software of the automated systems of fire and explosion. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7–8, pp. 60–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.60-66.

Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

А. В. КРЮЧКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности критически важных объектов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1; e-mail: kruchkov.a@gubkin.ru)

Д. С. ГРАЧЕВ, соискатель факультета подготовки научно-педагогических кадров, кафедра информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

К. А. МИХАЙЛОВ, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, кафедра информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: mihkir.94@mail.ru)

УДК 614.849:004.42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПРОГРАММ В СПЕЦИАЛЬНОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены единичные программные системы (ЕПС) автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) объектов. Дано одно из возможных математических определений программ ЕПС и их характеристик. Проведена оценка количества формул в специальном программном обеспечении (СПО) АСПВБ и автоматизированных систем управления технологическими процессами в целом. Описан процесс поиска унификатора в ЕПС на множестве формул СПО АСПВБ. Показано, что для его определения необходимо провести разбиение ЕПС на базовые группы функциональности, представляющие собой неделимые на части элементы.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления технологическими процессами; специальное программное обеспечение; автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности; единичная программная система; базовые группы функциональности.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.67-73

Введение

Научно-технический прогресс диктует все новые и новые требования к принципам работы производственных мощностей современных предприятий. Для их устойчивой работы в современных условиях используются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), составной частью которых является специальное программное обеспечение (СПО).

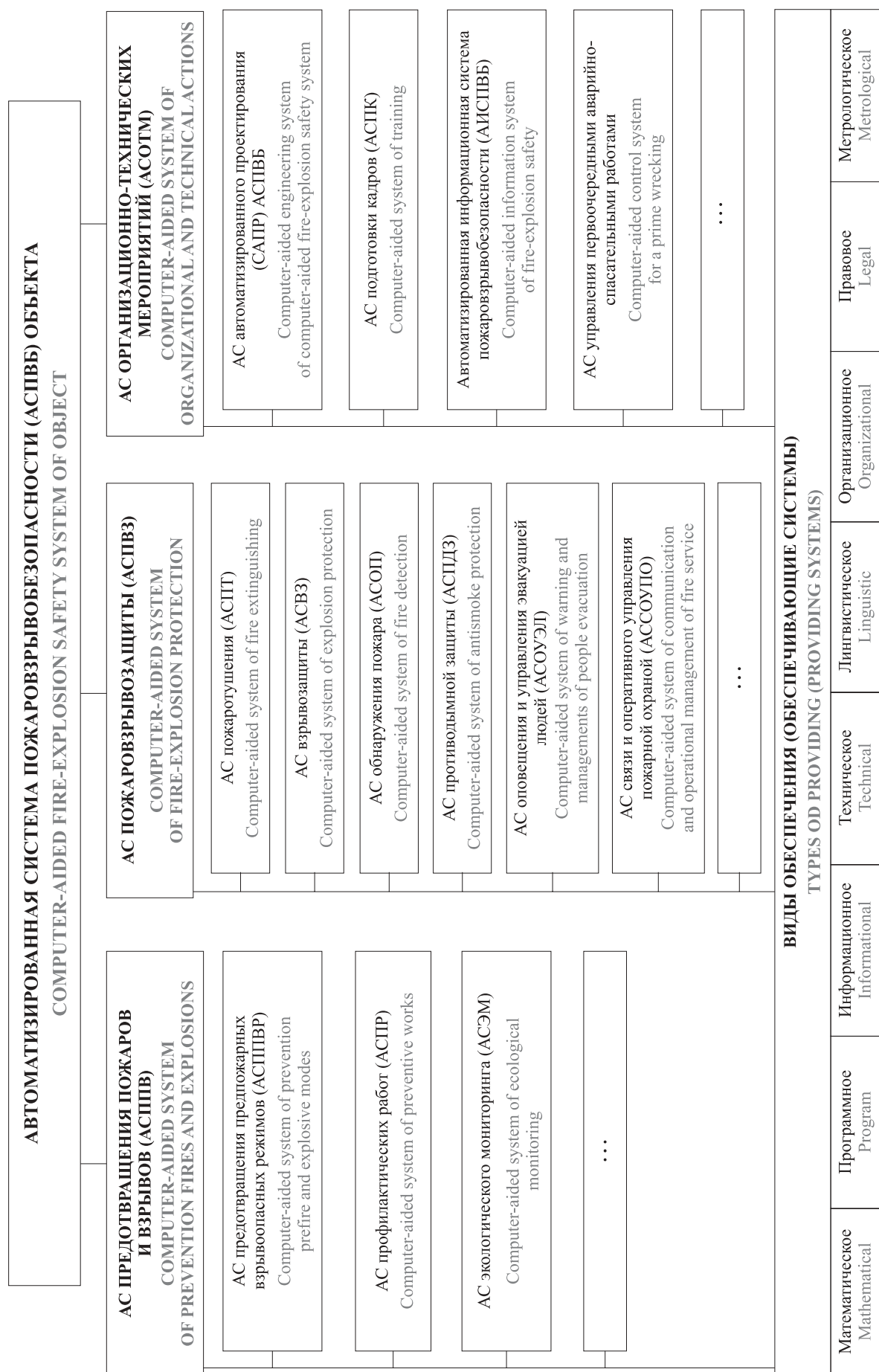
Таким образом, цель настоящей работы — определение состава программ в СПО автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов (АСПВБ). При этом поставлены и решены следующие задачи: описание математического определения единичных программных систем (ЕПС) и их характеристик; оценка количества формул в СПО автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности; описание (с формальной точки зрения) поиска унификатора в единичной программной системе.

Общая постановка задачи исследования

Нефтеперерабатывающие производства (НПП) — важная составляющая современной промышленности. Они, помимо всего прочего, могут иметь в составе АСУТП автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности [1, 2]. В данные системы входят обеспечивающие системы, а также функциональные автоматизированные системы (АС) нижестоящего уровня, включающие в себя [1, 2] (см. рисунок):

- АС предотвращения пожаров и взрывов (АСППВ);
- АС пожаровзрывозащиты (АСПВЗ);
- АС организационно-технических мероприятий (АСОТМ).

Как правило, устойчивая работа перечисленных АС обеспечивается в настоящее время за счет устойчивой работы СПО, поэтому особое внимание следует уделить методам его синтеза [3–14]. Учитывая, что СПО АСПВБ представляет собой сложный ин-



Общая схема автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности объекта / General diagram of the computer-aided fire-explosion safety system of object

теллектуальный продукт, следует разделить его на составные части — единичные программные системы. ЕПС должны выполнять определенные функции операторов АСПВБ на автоматизированных рабочих местах (АРМ) в отдельных помещениях или цехах НПП. При этом влияние на ЕПС их разработчиков очень велико.

Общих функциональных задач у ЕПС нет, так как каждая из них отвечает за свой небольшой участок. Однако нужно, чтобы все они обеспечивали устойчивую работу АСПВБ в целом, особенно в определенных ситуациях. Предотвращение пожаров и взрывов на НПП — составная часть работы всех вместе взятых ЕПС в СПО АСПВБ. В связи с этим необходимо обеспечить такие условия синтеза ЕПС [4–6], которые позволят добиться нужной устойчивости в их работе. Для этого следует детально рассмотреть математическое определение программ ЕПС и их характеристик [15–20], по которым можно установить, насколько та или иная ЕПС устойчива к деструктивному влиянию людей, ее синтезирующих.

Теоретические основы

Поскольку ЕПС представляет собой программу, рассмотрим одно из ее возможных математических определений. Согласно [21] программа формально определена, если заданы входной вектор (перечень входных данных), выходной вектор (перечень выходных данных), внутрипрограммный вектор (перечень переменных, используемых для промежуточных вычислений) и ориентированный граф, который определяет порядок перехода от входных данных к выходным через промежуточные:

$$\{IN_p, OUT_p, SOLE_p, (U_p, R_p)\}, \quad (1)$$

где IN_p — входной вектор;

OUT_p — выходной вектор;

$SOLE_p$ — внутрипрограммный вектор;

(U_p, R_p) — ориентированный граф;

U_p — непустое множество узлов (вершин) графа состояний;

R_p — непустое множество ребер (стрелок), нагруженных данными о вероятности развития процесса по данному ребру.

При этом должно существовать отображение направленной инцидентности $D(r)$, определенное на множестве пар узлов (вершин) графа R_p , суть которого состоит в определении возможных переходов между вершинами:

$$\exists D(r)(U_p, U_p), \quad (2)$$

где

$$(U_p, U_p) \in R_p. \quad (3)$$

Семантика программной конструкции может быть также описана с помощью двух предикатов [19, 20]:

$$\begin{aligned} W_p(S_p, R_p) & \text{ (предусловие);} \\ R_p & \text{ (постусловие),} \end{aligned} \quad (4)$$

где $W_p(S_p, R_p)$ — множество начальных состояний (предусловие);

R_p — множество состояний, возникающих в результате применения оператора (предиката) S_p в качестве преобразователя множества начальных состояний (постусловие).

Если говорить о какой-то одной предметной области, то представленные выше формулы будут моделировать одну из ее функциональных характеристик. Для математического описания спецификации (функциональной характеристики) может рассматриваться следующая формула [21]:

$$F(a) \leq_{P(a)} Z \text{ при } R(a, Z), \quad (5)$$

где $F(a)$ — спецификация одного из требований, описывающих единичную характеристику предметной области;

a — вход программной конструкции;

Z — выход программной конструкции;

$P(a)$ — входное условие;

$R(a, Z)$ — выходное условие.

В свою очередь программная конструкция, выводимая из такой спецификации, может быть представлена как предикат вида

$$(\forall a)(\exists Z) \text{ если } P(a) \text{ то } R(a, Z). \quad (6)$$

С формальной точки зрения “унификация — это процесс отыскания общей части двух выражений” [21]. В [21] приводится формальное определение спецификации алгоритма унификации. Алгоритм унификации — это процедура отыскания наиболее общего унификатора для двух выражений, если для них вообще таковой существует. Унификатор — это набор сходных характеристик группы выражений [21].

Такой подход вполне оправдан, когда речь идет о небольших программных системах (не более 100 строк). При эксплуатации СПО АСПВБ и АСУТП НПП в целом для заданного класса задач приходится иметь дело с большим (как правило, значительно более 100) числом АРМ, каждое из которых представляет собой набор программ с числом строк до 30 тысяч. В связи с этим алгоритм унификации применим лишь при рассмотрении небольшой в смысле количества функциональной характеристики ЕПС, а для СПО АСПВБ и АСУТП НПП в целом его следует применять с большой осторожностью.

Оценим количество формул в СПО. Примем в качестве допущения, что объем кода в ЕПС немного свыше 10 тысяч строк. Исходя из расчетов, выполненных авторами, можно утверждать, что каждая реализация СПО содержит набор из 100 и более программ, семантика программной конструкции кото-

рых определяется формулой (4), а самих программ — формулой (1). При проведении суперпозиции этих моделей возможно получение набора из 100 формул на одну программу. Для СПО АСПВБ и АСУТП в целом необходимо около миллиона формул. Имея матрицу такого размера, будет сложно провести расчеты, но алгоритм унификации всей группы ЕПС в СПО АСПВБ (поиск унификатора данной группы) следует рассматривать как правильное направление по повышению его устойчивости.

Таким образом, в терминах определения программ, приводимых в [21], предварительная задача исследования может быть определена как поиск унификатора на множестве формул СПО АСПВБ. В ней могут рассматриваться две подзадачи: поиск унификаторов каждой ЕПС на множестве функциональных характеристик предметной области и поиск унификатора СПО на множестве всех найденных унификаторов ЕПС.

Для определения унификатора в ЕПС необходимо провести разбиение ЕПС на базовые группы функциональности (БГФ), каждая из которых будет представлять собой неразбиваемую на части программу, удовлетворяющую условиям приведенных выше формул. Если рассматривать ЕПС с таких позиций, то ее можно представить множеством

$$\{F_1, F_2, \dots, F_M\}, \quad (7)$$

где $F_1, F_2, \dots, F_M$ — набор базовых групп функциональности ЕПС.

Тогда, учитывая, что M — число групп функциональности ЕПС, а N — число ЕПС в АСПВБ, СПО можно представить как суперпозицию всех ЕПС. В этом случае мы получаем матрицу “неочищенных” базовых групп функциональности, для которых необходимо провести унификацию:

$$\begin{array}{cccc} F_{11}, & F_{21}, & \dots, & F_{M1}; \\ F_{12}, & F_{22}, & \dots, & F_{M2}; \\ & \dots & & \\ & \dots & & \\ F_{1N}, & F_{2N}, & \dots, & F_{MN}. \end{array} \quad (8)$$

В этом случае с формальной точки зрения для поиска унификатора группы ЕПС необходимо выделить только такие базовые группы функциональности различных ЕПС, которые будут обладать сходными характеристиками. Таким образом, выделенные в (8) группы функциональности будут отнесены к базовым. Другими словами, это могут быть базовые элементы программ, соответствующие базовым группам функциональности. Их набор позволит сформировать пространство групп функци-

ональности ЕПС. В этом случае мы получим аналогичную (8) матрицу базовых элементов программ, которым могут соответствовать функции библиотек подпрограмм или элементы репозитория компонентов:

$$\begin{array}{cccc} F_{1Б}, & F_{2Б}, & \dots, & F_{МБ1}; \\ F_{1Б}, & F_{2Б}, & \dots, & F_{МБ2}; \\ & \dots & & \\ & \dots & & \\ F_{1Б}, & F_{2Б}, & \dots, & F_{МБN}. \end{array} \quad (9)$$

Часть групп функциональности (функций) разных ЕПС может быть реализована одинаково с помощью базовых элементов программ, а часть не может, так как каждая из ЕПС используется для определенной предметной области. Множество таких базовых групп функциональности представляет собой унификатор группы ЕПС, который можно определить как

$$\{F_{1Б}, F_{2Б}, \dots, F_{КБ}\} \in R_f, \quad (10)$$

где $F_{1Б}, F_{2Б}, \dots, F_{КБ}$ — набор из K базовых групп функциональности;

R_f — пространство групп функциональности.

Отсюда следует, что выявление групп базовых элементов программ позволяет однозначно снизить влияние человека на СПО АСПВБ и, следовательно, повысить его надежность [22, 23].

Заключение

Таким образом, задача определения состава программ в СПО АСПВБ объектов может быть определена как поиск подмножества базовых элементов программ (БЭП) на пространстве групп функциональности единичных программных систем. Ее решением будет множество групп БЭП на дискретном пространстве ЕПС. Суперпозиция групп БЭП и некоторых дополнительных унифицированных программных элементов (конфигураций, компонент, процедур и функций, элементов интерфейса, баз данных и т. п.), специфицирующих данное обобщение для конкретной предметной области, создаст объект ЕПС. Недостатками такой математической конструкции являются большая размерность матрицы (9) и отсутствие учета иерархий наборов требований. В связи с этим логичным продолжением процесса математической постановки задачи определения состава программ в СПО автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов может стать моделирование иерархических характеристик СПО с помощью графов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топольский Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов. — М. : МИПБ МВД России, 1997. — 164 с.
2. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Фёдоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М. : МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
3. Гаплаев А. А.-Б. Автоматизированный комплекс контроля и испытаний системы управления противопожарной защиты нефтеперерабатывающих производств : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2018. — 226 с.
4. Крючков А. В. Обобщение опыта синтеза специального программного обеспечения на различных инструментальных средствах // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 3(61). — С. 252–263. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/41-03-15.ttb.pdf> (дата обращения: 03.06.2018).
5. Gajski D. D., Abdi S., Gerstlauer A., Schimer G. Software synthesis // Embedded System Design. — Boston, MA : Springer, 2009. — P. 155–197. DOI: 10.1007/978-1-4419-0504-8_5.
6. Крючков А. В. Методология универсализации синтеза специального программного обеспечения крупной автоматизированной системы управления предприятием // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — Вып. 3(61). — С. 264–268. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/40-03-15.ttb.pdf> (дата обращения: 03.06.2018).
7. Stolz V. Special issue: Harnessing theories for tool support in software // Innovations in Systems and Software Engineering. — 2013. — Vol. 9, Issue 1. — P. 1–2. DOI: 10.1007/s11334-012-0193-4.
8. Макконнелл С. Профессиональная разработка программного обеспечения: сокращение сроков, повышение качества продукта, больше удачных проектов, расширение возможностей успешной карьеры / Пер. с англ. — СПб. : Символ&Плюс, 2006. — 240 с.
9. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. — М. : Финансы и статистика, 2006. — 545 с.
10. Zheng Qin, Xiang Zheng, Jiankuan Xing. Software Architecture // Advanced Topics in Science and Technology in China. — Berlin, Heidelberg : Springer, 2008. — 337 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74343-9.
11. Bass L., Clements P., Kazman R. Software architecture in practice. — 3rd Edition. — Addison-Wesley Professional, 2012. — 640 p.
12. Rozanski N., Woods E. Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives. — 2nd Edition. — Addison-Wesley Professional, 2012. — 704 p.
13. Almeida J. B., Frade M. J., Pinto J. S., Melo de Sousa S. Rigorous software development. — London : Springer-Verlag, 2011. — 307 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-018-2.
14. Crookshanks E. Practical Software Development Techniques: Tools and techniques for building enterprise software. — Berkeley, CA : Apress, 2014. — 212 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-0728-4.
15. Грис Д. Наука программирования / Пер. с англ.; под ред. А. П. Ершова. — М. : Мир, 1984. — 416 с.
16. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Пер. с англ.; под ред. С. Ю. Маслова. — М. : Наука, 1983. — 360 с.
17. Дijkstra Э., Болье Л., Хоор К., Дал У.-И. Языки программирования / Ред. Ф. Женюи; пер. с англ. В. П. Кузнецова, под ред. В. М. Курочкина. — М. : Мир, 1972. — 410 с.
18. Умрихин Ю. Д. Оптимизация сложных информационных систем. — М. : Министерство радиопромышленности СССР, 1983. — 125 с.
19. Клименко И. С. Теория систем и системный анализ. — М. : РосНОУ, 2014. — 264 с.
20. Шиханович Ю. А. Введение в современную математику. Начальные понятия. — М. : Наука, 1965. — 376 с.
21. Ильин В. Д. Система порождения программ. — М. : Наука, 1989. — 257 с.
22. De Lucia A., Ferrucci F. Software engineering. — Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2013. — 237 p. DOI: 10.1007/978-3-642-36054-1.
23. Peled D. A. Software reliability methods. — New York : Springer-Verlag, 2001. — 332 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-3540-6.

Материал поступил в редакцию 15 июня 2018 г.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Крючков А. В., Грачев Д. С., Михайлов К. А. Определение состава программ в специальном программном обеспечении автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7–8. — С. 67–73. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.67-73.

DETERMINATION OF THE COMPOSITION OF PROGRAMS IN A SPECIAL SOFTWARE OF THE COMPUTER-AIDED FIRE-EXPLOSION SAFETY SYSTEMS OF OBJECTS

TOPOLSKIY N. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

KRYUCHKOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Department of Complex Security of Critical Objects, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: kruchkov.a@gubkin.ru)

GRACHEV D. S., Competitor of Faculty of Scientific and Pedagogical Staff, Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

MIKHAYLOV K. A., Postgraduate Student of Faculty of Scientific and Pedagogical Staff, Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: mihkir.94@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. For the sustainable operation of modern industries, in particular oil refineries, computer-aided process control systems are used. One of the key components of these systems are the computer-aided fire-explosion safety systems. A crucial role in these systems is played by special software, the reliability of which depends on the successful functioning of the computer-aided fire-explosion safety systems and in general oil refineries.

The work purpose is to determine the composition of programs in special software for computer-aided fire-explosion safety systems of objects. The following tasks are solved: the mathematical definition of single software systems and their characteristics is described; the number of formulas in the special software of computer-aided fire-explosion safety systems is estimated; from the formal point of view, the identification of the unifier in a single software system is described.

Methods. The article uses the methods of mathematical logic, graph theory for the formal description of single software systems and their functional characteristics.

Results and discussion. One of the possible mathematical definitions of single software systems of computer-aided fire-explosion safety systems and their characteristics is given. The assesment of quantity of formulas for the special software of the computer-aided fire-explosion safety systems and computer-aided process control systems in general which about one million is necessary is carried out. It is shown that to determine the unifier in a single program system, it is necessary to divide it into basic groups of functionality. The basic functionality groups are meant as basic elements of programs.

Conclusions. In the end, the identification of groups of basic elements of programs allows to define unambiguously the required structure of programs of the special software of the computer-aided fire-explosion safety systems of objects, increase its reliability and simplify the work with it.

Keywords: computer-aided process control systems; computer-aided fire-explosion safety systems; synthesis of special software; single software system; basic functionality groups.

REFERENCES

1. Topolskiy N. G. *Osnovy avtomatizirovannykh sistem pozharovzryvobezопасnosti obyektov* [Basics of computer-aided fire and explosion safety systems]. Moscow, Fire Safety Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1997. 164 p. (in Russian).
2. Abrosimov A. A., Topolskiy N. G., Fedorov A. V. *Avtomatizirovannyye sistemy pozharovzryvobezопасnosti neftepererabatyvayushchikh proizvodstv* [Computer-aided fire and explosion safety systems of petroleum refineries]. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p. (in Russian).
3. Gaplaev A. A.-B. *Computer-aided complex of control and testing of management systems of oil refineries fire protection*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2018. 226 p. (in Russian).

4. Kruchkov A. V. Summarizing the experience of synthesis special software for different programming languages. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 3(61), pp. 252–263 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/41-03-15.ttb.pdf> (Accessed 3 June 2018).
5. Gajski D. D., Abdi S., Gerstlauer A., Schimer G. Software synthesis. In: *Embedded System Design*. Boston, MA, Springer, 2009, pp. 155–197. DOI: 10.1007/978-1-4419-0504-8_5.
6. Kruchkov A. V. Universal application synthesis methodology of special software for large automated enterprise control system. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, issue 3(61), pp. 264–268 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/40-03-15.ttb.pdf> (Accessed 3 June 2018).
7. Stolz V. Special issue: Harnessing theories for tool support in software. *Innovations in Systems and Software Engineering*, 2013, vol. 9, issue 1, pp. 1–2. DOI: 10.1007/s11334-012-0193-4.
8. McConnell S. *Professional software development: shorter schedules, higher quality products, more successful projects, enhanced careers*. Addison-Wesley, 2004. 243 p. (Russ. ed.: McConnell S. *Professionalnaya razrabotka programmnogo obespecheniya: sokrashcheniye srokov, povysheniye kachestva produkta, bolshe udachnykh proyektov, rasshireniye vozmozhnostey uspezhnoy karyery*. Saint Petersburg, Simvol&Plyus Publ., 2006. 240 p.).
9. Vendrov A. M. *Proyektirovaniye programmnogo obespecheniya ekonomicheskikh informatsionnykh sistem* [The software design of economic information systems]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2006. 545 p. (in Russian).
10. Zheng Qin, Xiang Zheng, Jiankuan Xing. Software Architecture. In: *Advanced Topics in Science and Technology in China*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2008. 337 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74343-9.
11. Bass L., Clements P., Kazman R. *Software architecture in practice*. 3rd Edition. Addison-Wesley Professional, 2012. 640 p.
12. Rozanski N., Woods E. *Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives*. 2nd Edition. Addison-Wesley Professional, 2012. 704 p.
13. Almeida J. B., Frade M. J., Pinto J. S., Melo de Sousa S. *Rigorous software development*. London, Springer-Verlag, 2011. 307 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-018-2.
14. Crookshanks E. *Practical Software Development Techniques: Tools and techniques for building enterprise software*. Berkeley, CA, Apress, 2014. 212 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-0728-4.
15. Gries D. *The science of programming*. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag, 1981 (Russ. ed.: Gries D. *Nauka programmirovaniya*. Moscow, Mir Publ., 1984. 416 p.).
16. Chang Ch.-L., Lee R. *Symbolic logic and mechanical theorem proving*. New York, San Francisco, London, Academic Press, 1973 (Russ. ed.: Chang Ch.-L., Lee R. *Matematicheskaya logika i avtomaticheskoye dokazatelstvo teorem*. Moscow, Nauka Publ., 1983. 360 p.).
17. Dijkstra E. W., Beaulieu L., Hoare C. A. R., Dahl O.-J. *Programming languages*. London, 1968 (Russ. ed.: Dijkstra E. W., Beaulieu L., Hoare C. A. R., Dahl O.-J. *Yazyki programmirovaniya*. Moscow, Mir Publ., 1972. 410 p.).
18. Umrikhin Yu. D. *Optimizatsiya slozhnykh informatsionnykh system* [Optimization of complex information systems]. Moscow, Ministry of Radio Technology Publ., 1983. 125 p. (in Russian).
19. Klimenko I. S. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [Systems theory and system analysis]. Moscow, RosNOU Publ., 2014. 264 p. (in Russian).
20. Shikhanovich Yu. A. *Vvedeniye v sovremennuyu matematiku. Nachalnyye ponyatiya* [Introduction to modern mathematics: Initial concepts]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 376 p. (in Russian).
21. Ilin V. D. *Sistema porozhdeniya programm* [The system of program generating]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 257 p. (in Russian).
22. De Lucia A., Ferrucci F. *Software engineering*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2013. 237 p. DOI: 10.1007/978-3-642-36054-1.
23. Peled D. A. *Software reliability methods*. New York, Springer-Verlag, 2001. 332 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-3540-6.

For citation: Topolskiy N. G., Kryuchkov A. V., Grachev D. S., Mikhaylov K. A. Determination of the composition of programs in a special software of the computer-aided fire-explosion safety systems of objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7–8, pp. 67–73 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.67-73.

А. А. СЁМИН, инженер по пожарной безопасности, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова (Россия, 127299, г. Москва, ул. Приорова, 10); соискатель ученой степени канд. техн. наук, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: symin89@mail.ru)

А. М. ФОМИН, д-р мед. наук, профессор, руководитель отделения хирургической гемокоррекции и детоксикации, Московский областной научно-исследовательский клинический институт (МОНКИ) им. М. Ф. Владимирского (Россия, 129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2, корп. 1; e-mail: amf05@mail.ru)

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, заслуженный работник высшей школы России, профессор кафедры “Пожарная безопасность в строительстве”, Академия ГПС МЧС РФ (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: reglament2004@mail.ru)

УДК 614.841

ПРОБЛЕМА ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ПАЦИЕНТОВ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Описана специфика объемно-планировочных решений медицинских учреждений. Представлена классификация основного контингента людей, находящихся в зданиях многопрофильных медицинских учреждений. Проанализированы функционально-технологические связи многопрофильных учреждений; представлена схема взаимосвязи между корпусами. Дана оценка состава потока для основных типов зданий многопрофильных медицинских учреждений. Представлена площадь горизонтальной проекции реанимационного пациента с обслуживающим его медицинским персоналом. Выделены классы функциональной пожарной опасности лечебных зданий учреждений здравоохранения. Предложена классификация основного функционального состава находящихся в них людей, исходя из ограничений возможностей их самостоятельного передвижения и транспортировки при помощи персонала. Приведены результаты исследований, позволяющие оценить соблюдение требований обеспечения пожарной безопасности находящихся в них пациентов при условии выполнения Государственной программы Российской Федерации “Доступная среда”.

Ключевые слова: коммуникационные пути; людские потоки; эвакуация; спасение; безопасность; лифтовые установки; люди с ограниченными возможностями передвижения; реанимационные пациенты; классификация контингента; объемно-планировочные решения; помещения и здания многопрофильных медицинских учреждений; зоны безопасности; доступная среда.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88

Введение

Защита здоровья — одна из приоритетных жизненных потребностей человека [1]. Для ее удовлетворения создается сеть медицинских учреждений специализированного профиля. Этот профиль определяют вид пораженного органа человека, характер его поражения и вид оказания медицинской помощи [2]:

- 1) первичная медико-санитарная помощь;
- 2) специализированная, в том числе высокотехнологическая, медицинская помощь;
- 3) скорая, в том числе скорая специализированная, медицинская помощь;
- 4) паллиативная медицинская помощь.

Медицинская помощь может оказываться:

- 1) вне медицинской организации (по месту вызова бригады скорой, в том числе скорой специали-

зированной, медицинской помощи, а также в транспортном средстве при медицинской эвакуации);

- 2) амбулаторно (в случаях, не предусматривающих круглосуточного медицинского наблюдения и лечения), в том числе на дому при вызове медицинского работника;

- 3) в дневном стационаре (в случаях, предусматривающих медицинское наблюдение и лечение в дневное время, но не требующих круглосуточного медицинского наблюдения и лечения);

- 4) стационарно (в случаях, требующих круглосуточного медицинского наблюдения и лечения).

Сеть медицинских учреждений реализует иерархически организованную систему взаимосвязанных и взаимодополняющих учреждений здравоохранения, размещенных на территории городских и сельских поселений, призванных удовлетворить много-

образные потребности в медицинском обслуживании всего населения страны.

Объемно-планировочные решения зданий, в которых размещаются эти учреждения, зависят от различных сочетаний показателей численности обслуживаемого населения, объема и вида оказываемой ему медицинской помощи, нормативно-расчетных показателей потребности в различных типах лечебно-профилактических услуг и оптимальной мощности медицинских учреждений, включая их пропускную способность и качество медицинского и инженерно-технического оборудования.

В архитектурно-строительном проектировании логика классификации зданий и сооружений исходит из их функционального назначения, определяющего типологию их объемно-планировочных решений. При этом важнейшими показателями этих решений являются коечный фонд и штатное расписание отделений, устанавливаемые с учетом утвержденных санитарных норм и правил и, соответственно, минимальной потребности в площади помещений и коммуникационных путей в них. При установлении минимальной площади помещений должно учитываться пространство, необходимое для целесообразного размещения функционально организованных рабочих мест, удобство связей и передвижения (коммуникаций) между ними. Функциональная организация определяется множеством различных видов деятельности (производственных процессов). Сумма функционально связанных минимальных площадей определяет в итоге целесообразность объемно-планировочных решений зданий различного назначения, в частности зданий учреждений здравоохранения.

Классификация зданий и сооружений по функциональной пожарной опасности накладывает на архитектурно-строительную классификацию дополнительно необходимость учета состава основного функционального контингента находящихся в них людей. Их количество, психофизиологические качества и функциональное состояние определяют возможности своевременной и беспрепятственной пешеходной эвакуации, т. е. единственного, предусмотренного Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123) [3] способа самостоятельно избежать критических уровней воздействия опасных факторов пожара в его начальной стадии развития. При этом согласно п. 14 ст. 89 [3] “эвакуационные пути не должны включать лифты, эскалаторы...”.

В то же время “в Российской Федерации в настоящее время насчитывается около 13 млн. инвалидов, что составляет около 8,8 процента населения страны, и более 40 млн. маломобильных граждан — 27,4 процента населения” [4]. В современном мире

к старению населения добавляется проблема ожирения людей всех возрастов с сопутствующими ему ограничениями подвижности [5–7]. Эти люди образуют демографические группы населения с ограничениями возможности передвижения различной степени, каждая из которых требует нетрадиционных форм организации пешеходной эвакуации, использования механических средств внутреннего транспорта и повышения надежности и эффективности функционирования систем противопожарной защиты.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) следующим образом определяет данные понятия:

- *инвалид* — “лицо, которое имеет нарушение здоровья со стойким расстройством функций организма, обусловленное заболеваниями, последствиями травм или дефектами, приводящее к ограничению жизнедеятельности и вызывающее необходимость его социальной защиты”;
- *ограничение жизнедеятельности* — полная или частичная утрата лицом способности или возможности осуществлять самообслуживание, самостоятельно передвигаться, ориентироваться, общаться, контролировать свое поведение, обучаться и заниматься трудовой деятельностью.

Министерством труда и социального развития Российской Федерации и Министерством здравоохранения в 1997 г. была утверждена классификация нарушений основных функций организма человека:

- *психических функций* (восприятия, внимания, памяти, мышления, речи, эмоций, воли);
- *сенсорных функций* (зрения, слуха, обоняния, осязания);
- *статодинамической функции* (поражение опорно-двигательного аппарата и нервной системы);
- *функций кровообращения, дыхания, пищеварения, выделения, обмена веществ и энергии, внутренней секреции.*

Как видно, эти определения несколько шире принятого в отечественном нормировании понятия “маломобильные группы населения”, впервые введенного СНиП 35-01-2001 [8] и определяемого как “люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве”.

Аналитическая часть

В связи с вышеизложенным становится очевидной актуальность дифференциации фактического основного функционального контингента людей в зданиях медицинских учреждений различного назначения, среди пациентов которых доля людей с постоянно или временно ограниченными возмож-

ностями передвижения приближается к 100 %. Тем не менее этот факт не находит должного отражения в современной классификации функционального состава зданий и сооружений [9]. Исследования же эвакуации этой категории людей как в России, так и за рубежом ограничиваются пределами этажа здания медицинского учреждения и не затрагивают организации эвакуации нетранспортабельных пациентов.

Такая дифференциация тесно связана с функциональной типологией объемно-планировочных решений зданий различного профиля лечебных учреждений. Однако сравнительный анализ социально-демографической дифференциации контингента людей в отдельных зданиях различных классов функциональной пожарной опасности значительно усложняется из-за различия их количественных показателей в зависимости от положения в иерархии лечебных заведений (сравнить, например, поселковую поликлинику и поликлинику администрации

президента). Это различие нивелируется, если здания различного назначения находятся в составе единого многопрофильного медицинского центра. В качестве примера такого центра может быть рассмотрено Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского (ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского) — старейшее в России (1773 г.) медицинское многопрофильное учреждение, на территории которого в настоящее время расположено 15 корпусов специализированных медицинских учреждений (рис. 1).

Представляется целесообразным разделить основной контингент людей, находящихся в зданиях лечебных учреждений, прежде всего на две социально-демографические группы в зависимости от той роли, которую они играют в процессе лечения:

- *пациенты*, т. е. объекты лечения;
- *персонал*, т. е. субъекты процесса лечения.

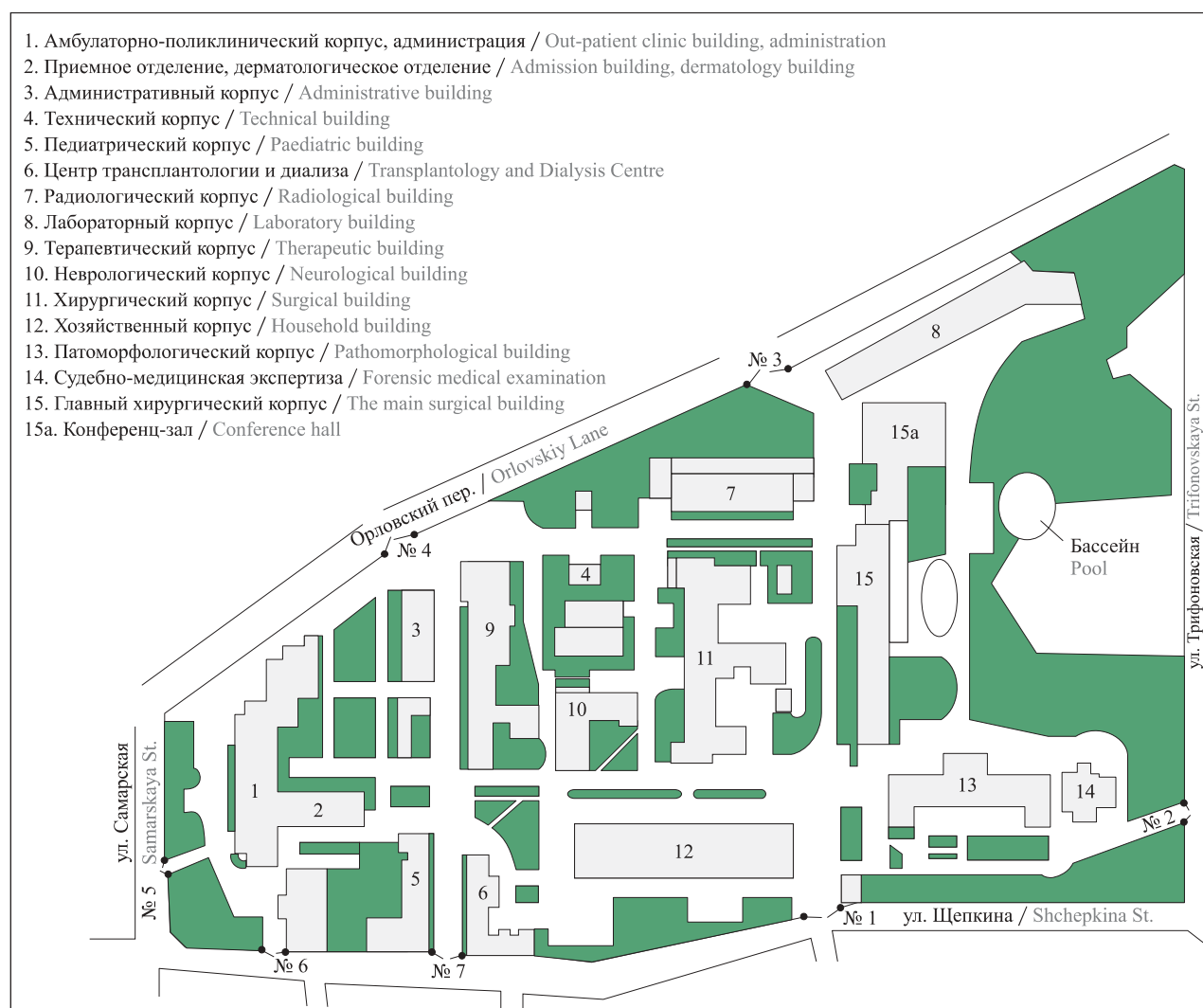


Рис. 1. Схема генерального плана ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского

Fig. 1. Master layout of Vladimirskiy Moscow Regional Scientific Research Clinical Institute (MONIKI)

Численность этих групп в некоторых зданиях медицинских учреждений в момент начала пожара может быть одинаковой. В зданиях же других типов количество пациентов на порядок превосходит численность обслуживающего персонала.

Дифференциация пациентов по степени ограничения возможности передвижения

Такая дифференциация пациентов (табл. 1) может быть построена на основе принципов растущих градаций, просматривающихся в цитируемых документах, и методических принципов нормирования, разработанных по результатам выполненных ранее исследований [10] движения маломобильных групп населения.

Дифференциация персонала

В качестве классификационных признаков персонала могут быть использованы их профессиональная принадлежность и участие в процессе медицинского обслуживания пациентов с ограничениями возможности передвижения различной степени или

участие в деловой и технической эксплуатации зданий (табл. 2).

Здесь степень ограничения возможности передвижения персонала целесообразно пренебречь, считая в первом приближении, что весь его состав относится к группам людей нормальной мобильности. Тем не менее следует иметь в виду, что специальные исследования [11] показали высокий процент людей, страдающих ожирением и одышкой, среди офисных работников, занимающихся различными видами делопроизводства.

В связи с этим дифференциацию контингента медицинских учреждений целесообразно связать непосредственно с режимом функциональной эксплуатации зданий, а не с пространственным перечнем номенклатуры медицинских учреждений по назначению (более 100) и по территориальному признаку (5), установленным номенклатурой медицинских организаций [2]:

1) *по виду деятельности*: лечебно-профилактические (87 видов); медицинские особого типа (15 видов); медицинские по организации надзора в сфере

Таблица 1. Дифференциация пациентов по степени ограничения возможности передвижения
Table 1. Patient differentiation according a mobility reduction degree

№ п/п No.	Степень ограничения Reduction degree	Признаки Symptoms	Категория движения (скорость V_0 , м/мин) Traffic category (speed V_0 , m/min)	Использование лифтов с этажа Use of lifts from the floor
1	Начальная Original	Избыточный вес, одышка, периодические боли в органах и суставах, быстрая утомляемость, дефекты слуха и зрения Overweight, shortness of breath, periodic pain in the organs and joints, fatigue, hearing and vision defects	Активное (80) вместо повышенной активности (100) Active (80) instead of increased activity (100)	Предпочтительно Preferably
2	Постоянная Permanent	Инвалиды среднего возраста: на протезах, с опорами; с нарушениями зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями Disabled persons of middle age: moving using prostheses, with supports; visual impaired, using a white cane; mental disabled persons	Активное (80) Active (80)	То же The same
		Инвалиды по старости с теми же признаками Old age disabled persons, the same signs	Спокойное (70) Calm (70)	Обязательно Mandatory
3	Лежачие транспортабельные Bed carriageable patients	Транспортируемые на носилках Carried on stretchers	Переноска персоналом Carrying by staff	То же The same
		Транспортируемые только на кроватях Carried only on beds	По горизонтальному пути On a horizontal path	"
4	Экстренно нетранспортабельные Non-carriageable urgently	Потребность в интенсивной терапии и аппаратах жизнеобеспечения (при сердечно-сосудистой и (или) дыхательной недостаточности) Need for intensive care and life support equipment (cardiovascular and/or respiratory failure)	Транспортировка на кроватях в сопровождении медперсонала со спецмедицинским оборудованием Transportation on beds accompanied by medical staff with special medical equipment	"

Таблица 2. Дифференциация персонала / Table 2. Staff differentiation

№ п/п No.	Вид персонала Staff type	Профессиональная принадлежность Professional affiliation	Категория движения при эвакуации по горизонтальному пути и лестнице Movement category when evacuating using a horizontal path and stairs	Использование лифтов для эвакуации из зданий ниже средней этажности Use of elevators for building evacuation below average height
1	Медицинский Medical	Врачи, медицинские сестры Doctors, nurses	Повышенной активности High activity	Необязательно No mandatory
2	Офисные работники Office workers	Делопроизводители, административно-хозяйственные работники Clerks, administrative and household workers	То же The same	То же The same
3	Инженерно-технический Engineering and technical	Инженеры, техники, рабочие, уборщики Engineers, technicians, workers, janitors	"	"
4	Научный Scientific	Научные работники, лаборанты Scientists, laboratory assistants	"	"

защиты прав потребителей и благополучия человека (5 видов);

2) по территориальному признаку: федеральные, краевые, республиканские, областные, окружные, муниципальные, межрайонные, районные, городские.

Тем более что, несмотря на различную высоту этих зданий, в планировочной структуре этажей используется испокон веков лишь одна из возможных четырех планировочных схем, отработанных многовековой практикой архитектурно-строительного проектирования, — коридорная.

Тогда все многообразие возможных взаимных сочетаний показателей номенклатуры может быть сведено к трем видам блоков зданий по режиму их эксплуатации: амбулаторно-поликлинические корпуса, корпуса стационарного (хирургического и терапевтического типа) лечения и лабораторно-диагностические (исследовательские) корпуса. Критериями такой классификации являются:

1) продолжительность периода интенсивной эксплуатации здания в суточном биоритме жизни человека:

- неполный период суточного биоритма (1–2 рабочих смены персонала);
- круглосуточная функциональная эксплуатация;

2) максимальная продолжительность пребывания пациента в здании:

- несколько часов (не более одной рабочей смены персонала);
- круглосуточное пребывание;
- эпизодическое присутствие в течение периода времени приема специалиста;

3) выделение круглосуточных стационаров хирургического профиля, имеющих отделения анесте-

зиологии и реанимации с палатами реанимации и интенсивной терапии.

Становится очевидным, что в соответствии с этими эксплуатационными характеристиками зданий происходит и дифференциация находящихся в них пациентов по степени ограничения возможности передвижения, и дифференциация персонала в зависимости от их участия в процессах лечения пациентов и эксплуатации зданий.

При этом деление основного функционального контингента на социальные группы происходит во входном блоке помещений — общем для блоков зданий, подразделяемых по режиму их эксплуатации (рис. 2). Этот блок помещений должен содержать зоны регистратуры и ожидания, а также контрольно-пропускные пункты (КПП). Зоны регистратуры и ожидания проектируются исходя из того, что *контроль входов и выходов* — это мероприятие, обеспечивающее порядок всего медицинского процесса. Для того чтобы регистратура и КПП выполняли управленческие функции, необходимо достаточное для этого количество сотрудников и постоянный контакт с медицинской зоной (двусторонняя внутренняя связь). В зоне ожидания проектируются панорамные окна для связи персонала регистратуры с пациентами, а также оптические или акустические сигнализаторы, на которые люди могли бы ориентироваться и в нормальных условиях эксплуатации, и в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Проходя через КПП, пациенты направляются в блоки помещений, в которых им оказываются медицинские услуги, соответствующие степени ограничения возможностей их передвижения, а персонал — в помещения, где он выполняет свои профессиональные обязанности. Такое распределение и определяет состав потока основного функционального

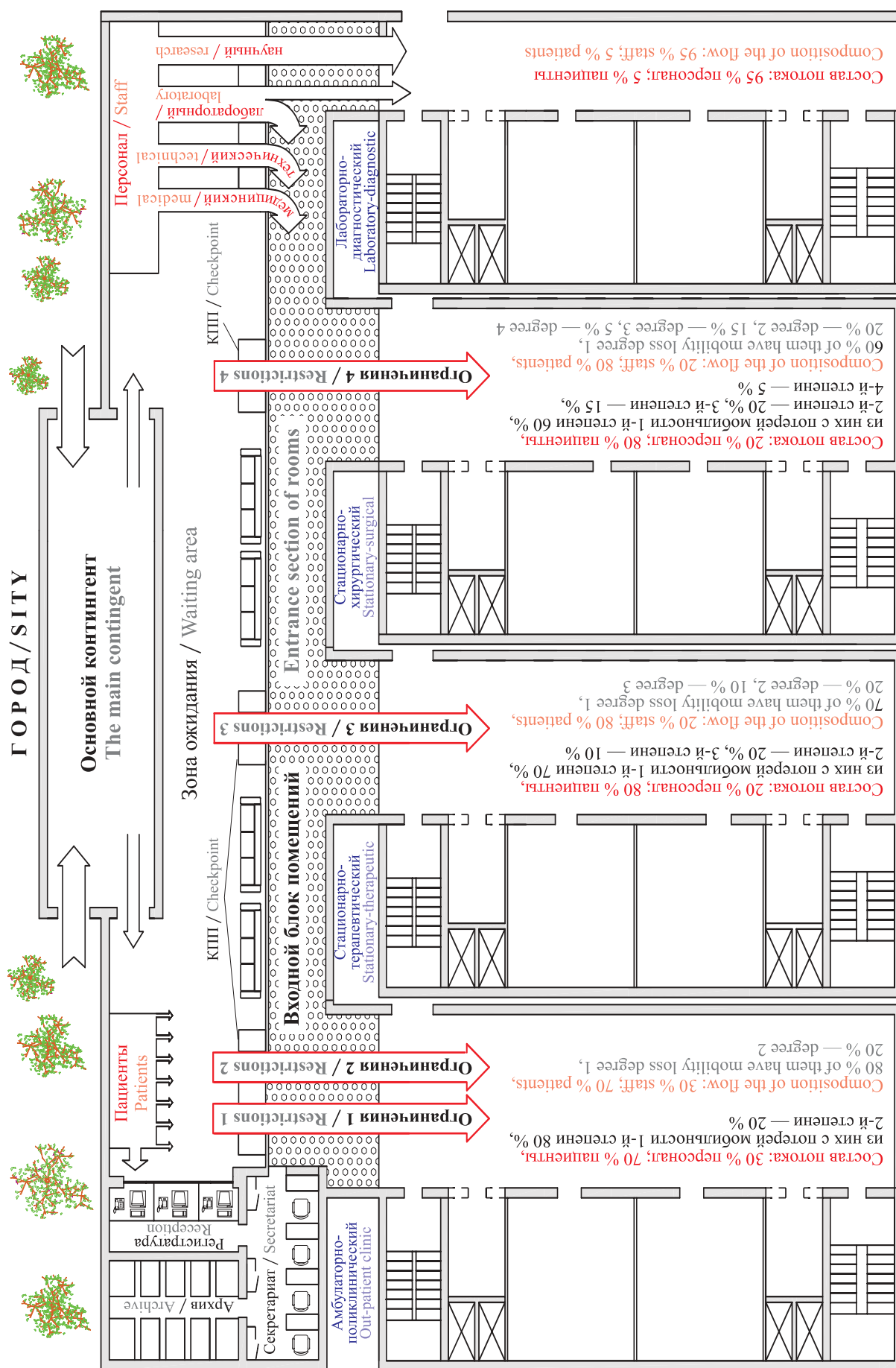


Рис. 2. Схема комплексной классификации зданий лечебных учреждений по функциональной пожарной опасности и составу основного контингента
Fig. 2. Scheme of medical institution building complex classification in terms of functional fire hazard and composition of the main contingent

контингента в зависимости от дифференциации пациентов в каждом из выделенных типов зданий.

Амбулаторно-поликлинический корпус

В амбулаторно-поликлиническом корпусе пациентам оказывают плановую медицинскую помощь, поэтому поток будет иметь следующий состав:

- персонал — 30 %;
- пациенты — 70 %, из них с потерей мобильности 1-й степени — 80 %, 2-й степени — 20 %.

Основным функционально-технологическим процессом, протекающим в амбулаторно-поликлиническом корпусе, является оказание поликлинических медицинских услуг. Следовательно, основными типами помещений в этом корпусе будут: кабинеты приема врача; процедурные кабинеты; диагностические кабинеты.

На базе ГБУЗ МО МОНИКИ им. М. Ф. Владимирского были проведены пожарно-тактические учения с эвакуацией пациентов и персонала из 11-этажного здания поликлиники.

Неизвестными в описании закономерностей связи $V = f(D)$ между параметрами людского потока такого состава при эвакуации являются коэффициенты соответствующей математической формулы. Вид же зависимости установлен [12, 13] и подтвержден результатами многочисленных серий натурных наблюдений [9, 14–30], проведенных в зданиях различного назначения. Это — элементарная случайная функция:

$$\bar{V}_{Dj}^3 = \bar{V}_{0j}^3 \left(1 - a_j \ln \frac{D_i}{D_{0j}} \right), \quad (1)$$

где $\bar{V}_{Dj}^3$ — вероятная величина скорости людей в эмоциональном состоянии при плотности потока D_i на участке j -го вида пути;

$\bar{V}_{0j}^3$ — случайная величина индивидуальной скорости свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей), зависящая от вида пути j и уровня эмоционального состояния людей;

a_j — коэффициент, определяющий степень влияния плотности потока при движении по j -му виду пути;

D_i — текущее значение плотности потока;

D_{0j} — пороговое значение плотности потока на участке j -го вида пути, по достижении которого плотность становится фактором, влияющим на скорость движения.

Стационарно-терапевтический корпус

В корпусе стационарно-терапевтического назначения направляются пациенты для оказания им терапевтической помощи. Терапия (др.-греч. *θεραπεία* — врачебный уход, лечение) — процесс, целью которого является облегчение, снятие или устранение симп-

томов того или иного заболевания. Все медицинские манипуляции протекают без хирургического вмешательства, поэтому основными типами помещения будут: терапевтическая палата, процедурные, диагностические кабинеты.

В составе людского потока появляются пациенты с 3-й степенью ограничения движения, которых необходимо эвакуировать на носилках:

- пациенты — 80 %, из них с потерей мобильности 1-й степени — 70 %, 2-й степени — 20 %, 3-й степени — 10 %;
- персонал — 20 %.

Расчетное время $t_{\text{сп.р}}$ (мин) спасения людей, неспособных к самостоятельному передвижению, с этажа здания определяется [31, 32] по формуле, суммирующей затраты времени на последовательные операции, составляющие процесс спасения:

$$t_{\text{сп.р}} = \left(t_1 + t_2 + \frac{L_1}{V_1^{\text{п}}} + \frac{L_2}{V_2^{\text{п}}} + \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right) \times \times \frac{N_{\text{нм}}}{0,5N_{\text{сп}}} - \left(\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right), \quad (2)$$

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 — длина пути спасения по горизонтали, м;

L_2 — длина пути спасения по лестнице, м;

V_1 — скорость передвижения медперсонала (спасателей) по горизонтальному пути с носилками без спасаемого человека, м/мин;

$V_1^{\text{п}}$ — скорость передвижения медперсонала по горизонтали со спасаемым человеком, лежащим на носилках, м/мин;

V_2 — скорость передвижения медперсонала по лестнице вверх с носилками без спасаемого человека, м/мин;

$V_2^{\text{п}}$ — скорость передвижения медперсонала по лестнице вниз со спасаемым человеком, лежащим на носилках, м/мин;

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

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

Выражение для определения зависимости времени $t_{\text{пк}}$ (мин) перекладывания людей спасателями с кровати на носилки от массы (рис. 3) имеет вид:

$$t_{\text{пк}} = \frac{60}{V_0 [1 - a \ln (m/m_0)]}, \quad (3)$$

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

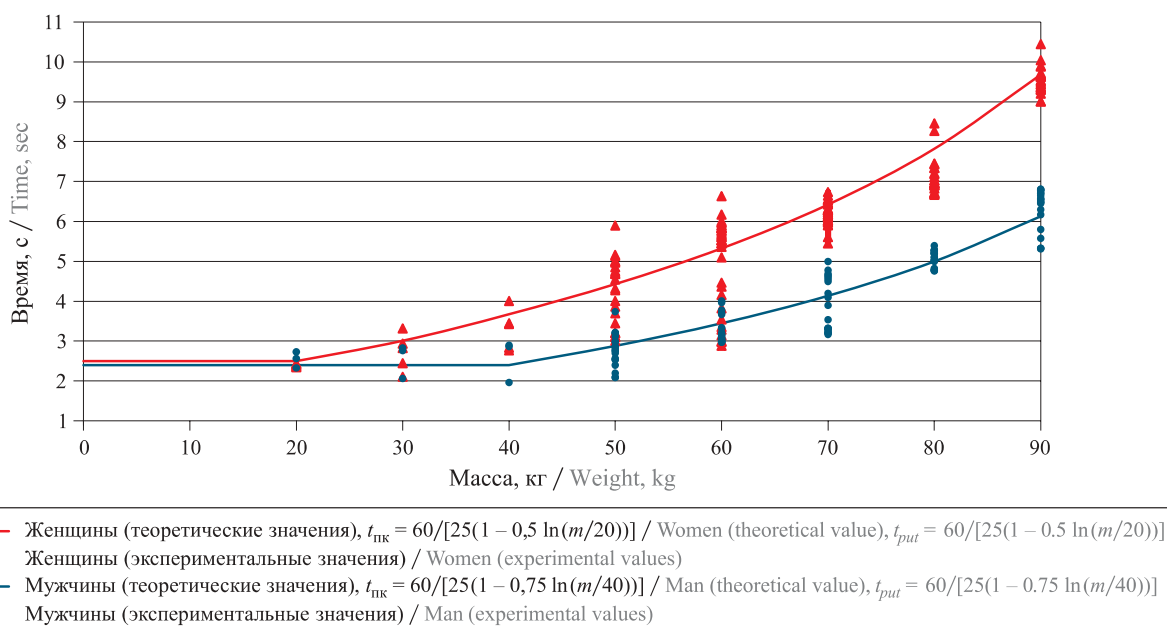


Рис. 3. Зависимость времени перекладывания спасателями мужского и женского пола пациентов с кровати на носилки от их массы
Fig. 3. Dependence between the time for a patient to be put on stretcher from bed by male/female rescuers and weight of the patients

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

m_0 — пороговое значение массы спасаемого человека при перекладывании его с кровати на носилки, по достижении которого масса начинает оказывать влияние на скорость перекладывания, кг;
 a — коэффициент адаптации спасателя к перекладыванию человека с кровати на носилки при увеличении массы спасаемого.

Зависимость скорости переноски людей спасателями на носилках $V_{\text{пн}j}$ (м/мин) по горизонталь-

ному пути и по лестнице вниз от массы спасаемого человека (рис. 4 и 5) может быть описана в общем виде случайной функцией:

$$V_{\text{пн}j} = V_{0j} [1 - a_j \ln(m_j / m_{0j})], \quad (4)$$

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

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

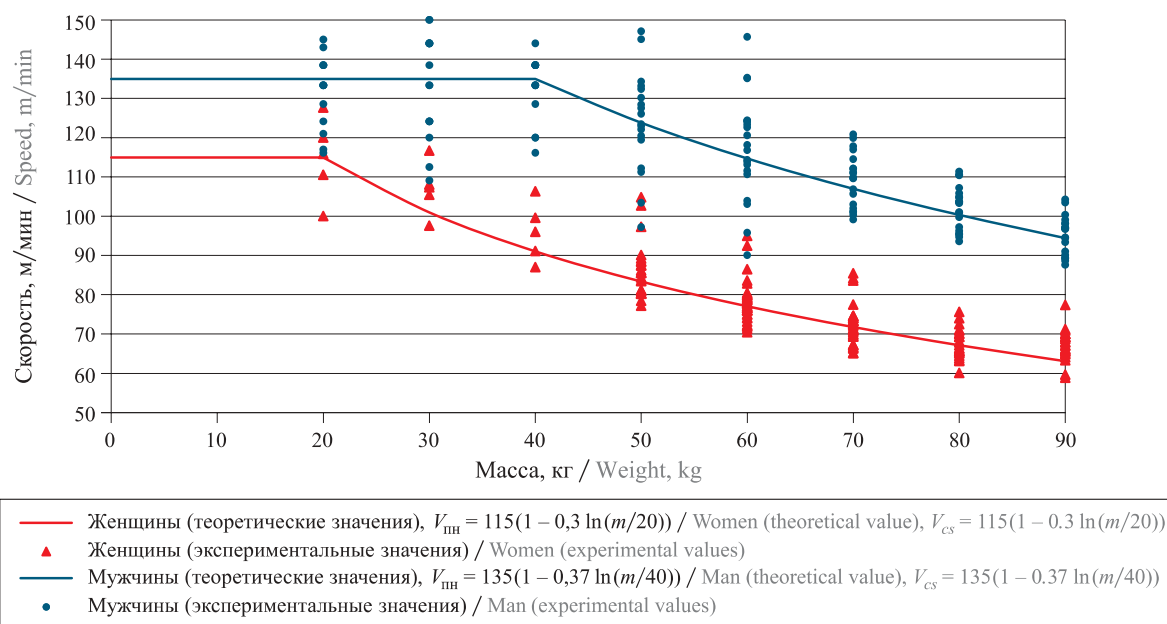


Рис. 4. Зависимость скорости переноски спасателями мужского и женского пола пациентов на носилках по горизонтальному пути от их массы
Fig. 4. Dependence between patient carrying speed on stretchers on the horizontal path by male/female rescuers and weight of the patients

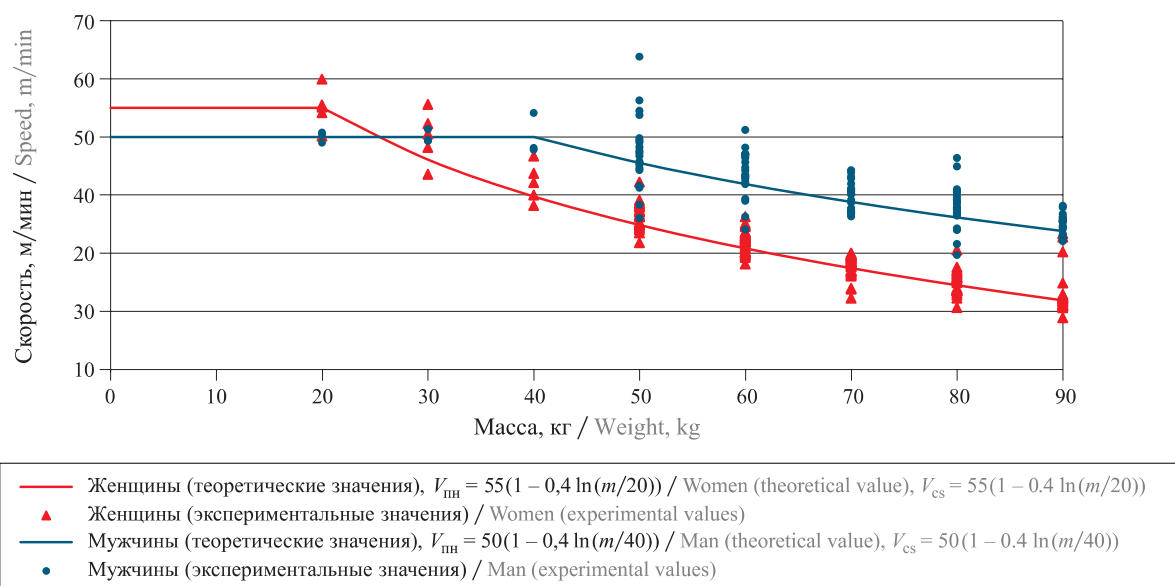


Рис. 5. Зависимость скорости переноски спасателями мужского и женского пола пациентов на носилках по лестнице вниз от их массы

Fig. 5. Dependence between patient carrying speed on stretchers down the stairs by male/female rescuers and weight of the patients

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, кг;

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

Экспериментально установлено [33], что максимальное количество рейсов по спасению, осуществляемое одной парой спасателей, составляет: с 3-го этажа здания — не более 8, со 2-го — не более 11, с 1-го — не более 20.

Приведенный состав потока определен анализом состава пациентов отделений в ГБУЗ МО МОНИКИ

им. М. Ф. Владимирского на основании ежедневных отчетов за 2016 г. (рис. 6).

Стационарно-хирургический корпус

Отличием зданий стационарно-хирургического профиля является наличие в корпусе отделения анестезиологии и реанимации с палатами реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), а также операционного блока. В связи с этим состав потока будет следующим:

- *пациенты* — 80 %, из них с потерей мобильности 1-й степени — 60 %, 2-й степени — 20 %, 3-й степени — 15 %, 4-й степени — 5 %;
- *персонал* — 20 %.

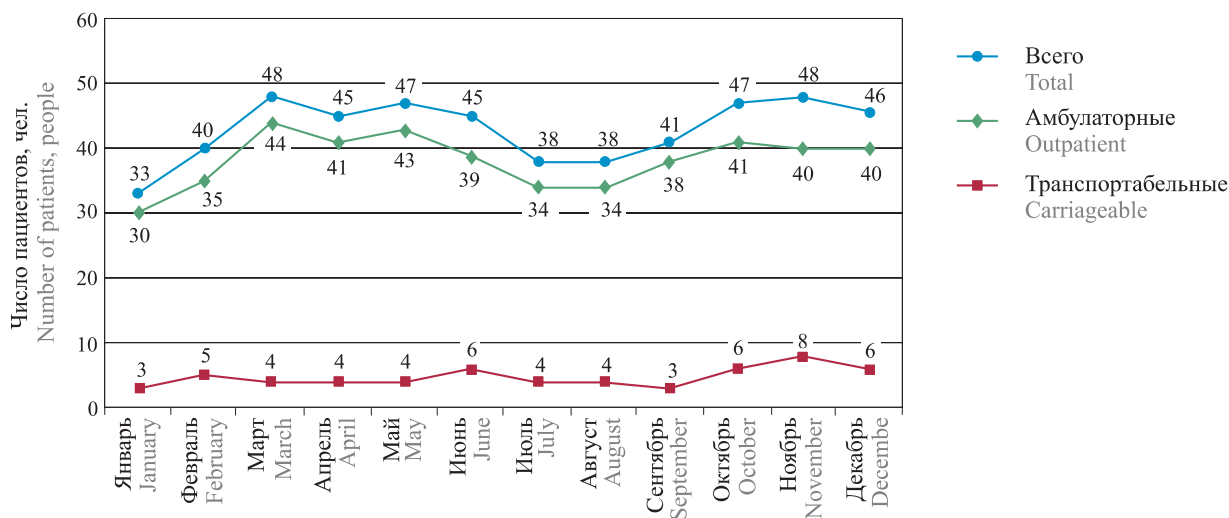


Рис. 6. Пример диаграммы помесечной численности пациентов с разной степенью потери подвижности в неврологическом отделении стационарно-терапевтического корпуса

Fig. 6. An example of a month number of patients with different degrees of mobility loss in a neurological section of therapeutic building



Рис. 7. Пациенты, жизнеобеспечение которых поддерживается с помощью аппарата искусственной вентиляции легких

Fig. 7. Patients whose life is supported with artificial lung ventilation equipment

Основным функционально-технологическим процессом *реанимационного блока* является проведение комплекса мероприятий по поддержанию функции жизненно важных органов и систем пациентов. В основном эти мероприятия направлены на стабилизацию деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем за счет непрерывного введения лекарственных препаратов и растворов, а также проведения искусственной вентиляции легких (далее — ИВЛ) (рис. 7).

В момент искусственной вентиляции легких больные находятся в состоянии медикаментозной седации (“сна”) с отключением двигательных и чувствительных функций организма. При этом реакция на боль сильно притупляется либо совсем отсутствует. В момент проведения искусственной вентиляции легких жизнь пациента полностью зависит от правильного функционирования аппарата ИВЛ. Данная категория пациентов неспособна к самостоятельной эвакуации и может перемещаться в пределах медицинского учреждения в лежачем положении только в сопровождении медицинского персонала с использованием специальной медицинской техники: дыхательных мешков “АМБУ” (ИВЛ проводится медперсоналом вручную) или транспортных аппаратов ИВЛ. Следует иметь в виду, что при возникновении чрезвычайной ситуации нельзя гарантировать абсолютной безопасности экстренной эвакуации этих пациентов.

Площадь горизонтальной проекции пациента на кровати-каталке в сопровождении медицинского персонала $f = 1,68 \text{ м}^2$ (длина $c = 2,10 \text{ м}$, ширина $a = 1,21 \text{ м}$) (рис. 8).

Для столь специфической категории пациентов необходимо обеспечивать зоны безопасности в самих реанимационных палатах, а эффективная эвакуация таких пациентов возможна только с использованием

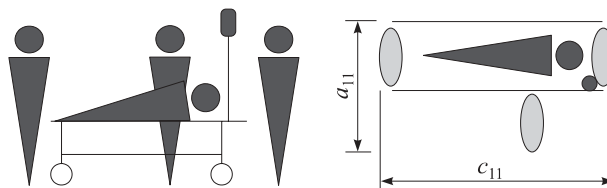


Рис. 8. Площадь горизонтальной проекции реанимационного пациента с медицинским персоналом

Fig. 8. Area of horizontal projection of the intensive care patients with medical personnel

инженерно-технических средств (лифтов) [34]. В целях обеспечения безопасности транспортировки пациентов необходима координация действий медицинских работников в реанимационных палатах, работы лифтов и организация приема пациентов вне зоны здания. В связи с этим необходимо выделить состав аварийно-спасательной службы МЧС для целенаправленной эвакуации реанимационного блока. Эвакуировать таких пациентов можно на кроватях-каталках и бригадами скорой медицинской помощи в отделение реанимации и интенсивной терапии соседних корпусов учреждения, а также реанимационными бригадами в другие медицинские учреждения города.

Каким же образом можно обеспечить безопасность реанимационных пациентов в уже введенных в эксплуатацию стационарно-хирургических зданиях, если в ранее построенных зданиях отсутствуют и зоны безопасности, и лифты для транспортировки пожарных подразделений, а на реконструкцию этих зданий финансирования в бюджете не предусмотрено? Пока что корректного ответа не дают даже в Главном управлении МЧС по г. Москве.

Лабораторно-исследовательский корпус

Спецификой лабораторного корпуса является почти полное отсутствие пациентов в здании, поэтому состав потока будет следующим: пациенты — 5 %; персонал — 95 %.

Выводы

1. В зданиях стационарно-терапевтического блока присутствует значительное число людей с ограничениями возможности передвижения 3-й степени, транспортировка которых осуществляется персоналом на носилках по пешеходным путям или с помощью лифтов.

Предварительные расчеты показывают, что безопасность этой группы пациентов при пожаре не может быть обеспечена путем пешеходной транспортировки их при помощи персонала в безопасную зону вне здания, тем более в ночное время, при наличии малого количества медицинского персонала. Поэтому возможность выполнения государственной программы “Доступная среда” применительно к

зданиям лечебных учреждений требует разрешения использовать лифты на начальной стадии развития пожара для эвакуации транспортабельных пациентов и срочной разработки мероприятий по обеспечению противопожарной защиты лифтовых установок в зданиях лечебных учреждений.

2. В состав пациентов в зданиях стационарно-хирургического блока входит значительное число людей, транспортирование которых по эвакуационным путям возможно только на кроватях-каталках или вообще невозможно (пациенты с 4-й степенью ограничений возможности передвижения). Их наличие определяет необходимость использовать при пожаре лифтовые установки для пожарных.

Для пациентов этой категории целесообразна организация зон противопожарной безопасности в помещениях их постоянного нахождения [32, 34]. В настоящее время методология проектирования таких зон отсутствует не только в нашей стране, но и в других странах мира.

3. Прибывающие на тушение пожарные подразделения не имеют сил и средств, необходимых для спасения ими всего контингента пациентов с 3-й и 4-й степенью ограничения подвижности, находящихся в лечебных учреждениях.

4. Необходима организация мест безопасности в пределах этажа зданий лечебных учреждений, которая должна предусматривать:

- деление этажа на две противопожарные зоны стеной, имеющей предел огнестойкости 2 ч;
- обеспечение не менее двух путей для перехода из одной части этажа в другую через противопожарную стену;

- защиту каждого прохода двумя дверями, открытыми при нормальной эксплуатации и автоматически закрывающимися с помощью магнитных защелок по сигналу от пожарного извещателя;
- размещение лифтов в двух группах, по одной с каждой стороны противопожарной перегородки, с расположением вблизи от каждой из групп по одной лестничной клетке.

Предусматривается, что лифты группы, расположенной на стороне пожара, на горящем этаже не останавливаются. Такое решение позволяет обеспечивать:

- горизонтальные пути эвакуации в безопасную зону, где будет достаточно времени для организации эвакуации в более спокойной обстановке;
- возможность использования группы лифтов, расположенных в зоне, защищенной от распространения пожара, для эвакуации людей и подъема пожарной команды, которая будет иметь на горящем этаже свободную от огня зону.

Целесообразно проектировать пожаробезопасные зоны в виде единого транспортно-коммуникационного узла.

5. Необходима организация зоны безопасности на территории вне радиуса возможного обрушения здания.

6. Назрела крайняя необходимость приведения нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности в соответствии с Государственной программой Российской Федерации “Доступная среда” и реальным демографическим составом населения страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации : приказ от 21.11.2011 № 323. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ (дата обращения: 25.06.2018).
2. Об утверждении номенклатуры медицинских организаций : приказ Министерства здравоохранения РФ от 06.08.2013 № 529н. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499038908> (дата обращения: 25.06.2018).
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 25.06.2018).
4. Государственная программа Российской Федерации “Доступная среда” на 2011–2020 годы : постановление Правительства Российской Федерации от 01.12.2015 № 1297 (ред. от 30.03.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/420319730> (дата обращения: 20.06.2018).
5. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
6. World Population Ageing 2015. — New York : United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. — 149 p. DOI: 10.18356/e59eddca-en.
7. World Population Prospects. The 2017 revision. Key findings and advance tables. — New York : United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. — 46 p. URL: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf (дата обращения: 20.06.2018).
8. СНиП 35-01–2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. — М. : ГУП ЦПП, 2001.

9. Самошин Д. А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2017. — 357 с.
10. Шурин Е. Т., Апаков А. В. Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения “смешанных” людских потоков при эвакуации // Проблемы пожарной безопасности в строительстве : сб. тр. — М. : Академия ГПС МВД РФ, 2001. — С. 36–42.
11. Самошин Д. А., Кудрин И. С., Истратов Р. Н. К вопросу о безопасной эвакуации людей из высотных зданий // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 6. — С. 64–67.
12. Холицевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
13. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1983. — 442 с.
14. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1951. — 178 с.
15. Калинин В. А. Проектирование кинотеатров с учетом движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1966. — 186 с.
16. Дувидзон Р. М. Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1968. — 194 с.
17. Григорьянц Р. Г. Исследование движения длительно существующих людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1971. — 195 с.
18. Буга П. Г. Исследование пешеходного движения в городах : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1973. — 154 с.
19. Копылов В. А. Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1974. — 145 с.
20. Ерёмченко М. А. Движение людских потоков в школьных зданиях : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1979.
21. Фёлькель Х. Принципы нормирования эвакуационных путей в производственных зданиях : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1979. — 145 с.
22. Овсянников А. С. Закономерности формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1983.
23. Никонов С. А. Разработка мероприятий по организации эвакуации при пожаре в зданиях с массовым пребыванием людей на основе моделирования движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1985.
24. Айбуев З. С.-А. Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1989. — 243 с.
25. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2013. — 190 с.
26. Kholoshevnikov V. V., Shields T. J., Boyce K. E., Samoshin D. A. Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia // Fire Safety Journal. — 2008. — Vol. 43, Issue 2. — P. 108–118. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.05.005.
27. Kholoshevnikov V. V., Samoshin D. A. Parameters of pedestrian flow for modeling purposes // Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008 / Klingsch W., Rogsch C., Schadschneider A., Schreckenberg M. (eds.). — Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. — P. 157–170. DOI: 10.1007/978-3-642-04504-2_12.
28. Kholoshevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation // Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire. — UK, Cambridge, 2009. — P. 243–254.
29. Kosachev A. A., Karpov A. V., Ushakov D. V., Kholoshevnikov V. V., Samoshin D. A. Simulation of people evacuation for fire risk assessment // 8th International Conference “FIRECO 2009” (Slovak Republic, Trenčín). — 2009. — 23 p. URL: http://www.fireevacuation.ru/Archive_En/Slovakia.pdf (дата обращения: 05.06.2018).
30. Kholoshevnikov V. V., Samoshin D. A., Isaevich I. I. Study on foot traffic flows on pedestrian routes in underground traffic system // The Eighth International Conference on Traffic and Granular Flow (June 22–24, 2009, Shanghai, China). — Shanghai : Shanghai University, 2009.
31. Kholoshevnikov V. V. Experimental researches of pedestrian flows moving along staircase of a multi-storey building // International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, No. 21. — P. 42549–42552.

32. Kholshchevnikov V., Serkov B., Kosatchev A., Samoshin D. Psychophysical relation laws for pedestrian flows parameters // Human Behaviour in Fire : Proceedings of 5th International Symposium (19–21 September, 2012, UK, Cambridge). — 2012. — P. 49–62.
33. Истратов П. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук — М., 2014. — 160 с.
34. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Modeling and reality of evacuation process // Proceedings of 13th International Conference “Interflam 2013”. — London, UK : Royal Holloway College, University of London, 2013. — P. 509–514. URL: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/Inter-Flam_2013_Samoshin_paper.pdf (дата обращения: 03.06.2018).

Материал поступил в редакцию 3 июля 2018 г.

Для цитирования: Сёмин А. А., Фомин А. М., Холищевников В. В. Проблема организации безопасной эвакуации пациентов лечебных учреждений при пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 74–88. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.

English

PROBLEM OF ORGANIZATION OF SAFE EVACUATION OF HEALTHCARE INSTITUTION PATIENTS IN CASE OF FIRE

SEMIN A. A., Fire Safety Engineer, Priorov National Medical Research Centre of Traumatology and Orthopaedics (Priorova St., 10, Moscow, 127299, Russian Federation); Candidate of Technical Sciences Seeker, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: symin89@mail.ru)

FOMIN A. M., Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Surgical Haemocorrection and Detoxification Department, Vladimirskiy Moscow Regional Scientific Research Clinical Institute (MONIKI) (Shchepkina St., 61/2, Bldg. 1, Moscow, 129110, Russian Federation; e-mail: amf05@mail.ru)

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

ABSTRACT

Foreword. The article considers a very urgent and complex issue: ensuring fire safety of patients during their evacuation from multi-field healthcare institutions. According to official data, there are about 13 million disabled people and 40 million low-mobile people in our country, and no one knows how many such people will be in healthcare institutions in a certain period of time. However, even without understanding of composition of the flow in healthcare institutions, it is evident that filling of healthcare institutions by people of reduced mobility will be many times more than in any other buildings.

Analytical part. A patient differentiation has been developed for classification of patients, as well as a personnel differentiation. The patient differentiation is carried out for various degrees of mobility limitations. The category of people who cannot move without special medical equipment and medical personnel is considered for the first time.

All possible spatial planning structures in healthcare institution buildings are brought to one solution — a corridor system, and a huge number of functional directions in the medicine can be brought to three sections of buildings. The oldest healthcare institution Vladimirskiy GBUZ MO MONIKI is considered as an object of research. All buildings of different medical nomenclatures are consolidated in this healthcare organization, and the main building sections are outpatient-polyclinic, stationary-surgical, stationary-therapeutic, and laboratory sections. Composition of the main func-

tional contingent and the main types of rooms are determined for each section. Creating of the base of the composition of the main functional contingent in rooms was started, depending on their transportability, including the intensive care section, taking into account long-term statistics.

Conclusion. After getting acquainted with specifics of the problem, it becomes obvious that without timely and effective means of fire protection are required. Besides, it is clear that such vulnerable population groups cannot be evacuated without means of transportation, therefore, safety zones shall be designed for patients to wait for arrival of fire units, since using of lifts as evacuation means is strictly forbidden in our country.

Keywords: communication paths; human flows; evacuation; rescue; safety; lift units; persons of reduced mobility; intensive care patients; contingent classification; space-planning solutions; multi-field healthcare institutions; safety zones; accessible environment.

REFERENCES

1. *On fundamentals of health protection of citizens in the Russian Federation*. Order of Russian Federation on 21.11.2011 No. 323 (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ (Accessed 25 June 2018).
2. *On approval of nomenclature of healthcare organizations*. Order of Ministry of Healthcare of the Russian Federation on 06.08.2013 No. 529n (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499038908> (Accessed 25 June 2018).
3. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law of the Russian Federation on 22.07.2008 No. 123 (ed. 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 25 June 2018).
4. *State Program of the Russian Federation "Accessible Environment" for 2011–2020*. Decree of Government of the Russian Federation on 01.12.2015 No. 1297 (ed. on 30.03.2018) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420319730> (Accessed 20 June 2018).
5. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
6. *World Population Ageing 2015*. New York, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. 149 p. DOI: 10.18356/e59eddca-en.
7. *World Population Prospects. The 2017 revision. Key findings and advance tables*. New York, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. 46 p. Available at: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf (Accessed 20 June 2018).
8. Construction Rules and Regulations 35-01–2001. *Accessibility of buildings and structures for physically handicapped persons*. Moscow, GUP TsPP Publ., 2001 (in Russian).
9. Samoshin D. A. *Methodological basis of regulation of safe evacuation of people from buildings in case of fire*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 2017. 357 p. (in Russian).
10. Shurin E. T., Apakov A. V. The selection of population groups through mobile qualities and individual movement in the human stream as the basis of simulation of the movement "mixed" people flows during evacuation. *Problemy pozharnoy bezopasnosti v stroitelstve. Sbornik trudov* [Problems of fire safety in construction. Collected papers]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Publ., 2001, pp. 36–42 (in Russian).
11. Samoshin D. A., Kudrin I. S., Istratov R. N. On the safe evacuation of people from high-rise buildings. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve / Fire Safety in Construction*, 2010, no. 6, pp. 64–67 (in Russian).
12. Kholshchevnikov V. V. *Relationship between parameters of human flow*. Diploma No. 24-S on the discovery in the field of social psychology. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005 (in Russian).
13. Kholshchevnikov V. V. *Human flows in buildings, structures and on adjoining territories*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1983. 442 p. (in Russian).
14. Milinskiy A. I. *Investigation of the process of evacuation of buildings of mass assignment*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1951. 178 p. (in Russian).
15. Kalintsev V. A. *Designing of cinemas taking into account the movement of human flows*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1966. 186 p. (in Russian).
16. Duvidzon R. M. *Design of sports facilities, taking into account the movement of human flows*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1968. 194 p. (in Russian).

17. Grigoryants R. G. *The study of permanent human flows*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1971. 195 p. (in Russian).
18. Buga P. G. *Study of pedestrian movement in cities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1973. 154 p. (in Russian).
19. Kopylov V. A. *The study of people's motion parameters under forced egress situations*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1974. 145 p. (in Russian).
20. Eremchenko M. A. *The movement of human flows in school buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1979 (in Russian).
21. Felkel Kh. *Principles of rationing evacuation ways in production buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1979. 145 p. (in Russian).
22. Ovsyannikov A. S. *Regularities in the formation of the structure of communication paths in indoor entertainment facilities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1983 (in Russian).
23. Nikonov S. A. *Development of activities for organization of evacuation in case of fire in buildings with a massive stay of people, based on human traffic simulation*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1985 (in Russian).
24. Aybuev Z. S.-A. *Formation of human streams in prefactory territories of large industrial hubs of a machine-building profile*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1989. 243 p. (in Russian).
25. Kudrin I. S. *Influence of parameters of traffic flows of people in case of fire in the volumetric-planning solutions of tall buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2013. 190 p. (in Russian).
26. Kholshchevnikov V. V., Shields T. J., Boyce K. E., Samoshin D. A. Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia. *Fire Safety Journal*, 2008, vol. 43, issue 2, pp. 108–118. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.05.005.
27. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Parameters of pedestrian flow for modeling purposes. In: Klingsch W., Rogsch C., Schadschneider A., Schreckenberg M. (eds.). *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010, pp. 157–170. DOI: 10.1007/978-3-642-04504-2_12.
28. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation. In: *Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire*. UK, Cambridge, 2009, pp. 243–254.
29. Kosachev A. A., Karpov A. V., Ushakov D. V., Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Simulation of people evacuation for fire risk assessment. In: *8th International Conference "FIRECO 2009" (Slovak Republic, Trenčín)*, 2009. 23 p. Available at: http://www.fireevacuation.ru/Archive_En/Slovakia.pdf (Accessed 5 June 2018).
30. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Isaevich I. I. Study on foot traffic flows on pedestrian routes in underground traffic system. In: *The Eighth International Conference on Traffic and Granular Flow (June 22–24, 2009, Shanghai, China)*. Shanghai, Shanghai University, 2009.
31. Kholshchevnikov V. V. Experimental researches of pedestrian flows moving along staircase of a multi-storey building. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42549–42552.
32. Kholshchevnikov V., Serkov B., Kosatchev A., Samoshin D. Psychophysical relation laws for pedestrian flows parameters. In: *Human Behaviour in Fire. Proceedings of 5th International Symposium (19–21 September, 2012, UK, Cambridge)*, 2012, pp. 49–62.
33. Istratov R. N. *Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in hospitals of social establishments on service of citizens of advanced age*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2014. 160 p. (in Russian).
34. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Modeling and reality of evacuation process. In: *Proceedings of 13th International Conference "Interflam 2013"*. London, UK, Royal Holloway College, University of London, 2013, pp. 509–514. Available at: http://www.fireevacuation.ru/files/Interflam2013/Inter-Flam_2013_Samoshin_paper.pdf (Accessed 3 June 2018).

For citation: Semin A. A., Fomin A. M., Kholshchevnikov V. V. Problem of organization of safe evacuation of healthcare institution patients in case of fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 74–88 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.

© **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ**, сотрудник кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: h_a_s@live.ru)

УДК 614.849

ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ К КУЛЬТОВЫМ СООРУЖЕНИЯМ

Рассмотрены нормативные документы по пожарной безопасности культовых сооружений. Представлена необходимая информация об особенностях проектирования и строительства объектов религиозного назначения. Даны пояснения по порядку применения существующих норм и правил пожарной безопасности для культовых зданий с массовым пребыванием людей. Отмечены трудности, возникающие при пользовании действующими противопожарными требованиями к вышеуказанным объектам.

Ключевые слова: культовые сооружения; пожарная безопасность; противопожарный режим; здания с массовым пребыванием людей; нормативные документы.



ВОПРОС:

На территории Российской Федерации расположено огромное количество культовых сооружений, к которым относятся святилища, христианские церкви, мусульманские мечети, иудаистские синагоги и буддийские храмы. Для постройки указанных объектов использовалась как древесина, так и другие, менее горючие строительные материалы. Независимо от этого внутренняя пожарная нагрузка всегда велика из-за наличия ковровых покрытий, икон и фресок, а также деревянных предметов (скамьи, иконостасы, минбары и т. п.). Все типы культовых зданий имеют свои особенности при проектировании и строительстве, а также являются местами значительного скопления людей, поэтому вопрос обеспечения пожарной безопасности для таких объектов является актуальным.

Какими нормативными документами обеспечивается выполнение требований пожарной безопасности к культовым сооружениям?

ОТВЕТ:

Из-за большого числа посетителей религиозные здания и сооружения следует отнести к объектам с массовым пребыванием людей, в которых одновременно может находиться 50 чел. и более¹. Для таких помещений должны предусматриваться более жесткие требования по обеспечению пожарной безопасности из-за высокой степени риска гибели людей при пожаре.

До мая 2009 г. на территории РФ действовали НПБ 108–96 “Культовые сооружения. Противопожарные требования”, которые определяли перечень меро-

приятий технического и профилактического характера, обеспечивающих необходимый противопожарный режим. Указанный документ утратил юридическую силу с момента вступления в действие “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федер. закон № 123-ФЗ) (далее — ФЗ № 123) [1], что отмечено в письме ФГУ ВНИИПО МЧС России от 09.06.2009 № 15-1-04/2061 “О разъяснениях по сводам правил”: “НПБ и другие отраслевые нормативные документы (СНиПы, ВНПП, ВУПП и т. д.) в области пожарной безопасности с 1 мая 2009 г. не применяются, так как их применение не подтверждает требований технического регламента”.

Таким образом, в период с 2009 по 2017 гг. сложилась ситуация, когда требования по пожарной безопасности для культовых сооружений отсутствовали. Для православных храмов с 1999 г. действует СП 31-103–99 (далее – СП 31) [2], в п. 4.8 которого указано, что “проектирование противопожарной защиты зданий, сооружений и комплексов православных храмов, а также соблюдение противопожарного режима должны осуществляться в соответствии с требованиями СНиП 21–01, НПБ 108, ППБ 01, и другими действующими нормами и правилами”. Указанные в СП 31 [2] нормативные документы с 2009 г. утратили силу, а новые так и не были приняты, за исключением Правил противопожарного режима (далее — ППР) [3], в которых приведены требования пожарной безопасности только к местам с массовым пребыванием людей. В 2014 г. появилась новая редакция п. 32а ППР [3]. В нем указывалось, что в культовых сооружениях при проведении мероприятий с массовым пребыванием людей в помещениях допускается применять пиротехнические изделия, дуговые прожекторы, а также открытый огонь и свечи. Таким образом, этот пункт тоже никоим образом не способствовал повышению уровня пожарной безопасности данных объектов.

¹ В нормативных документах используются различные, противоречащие друг другу определения термина “здание (помещение) с массовым пребыванием людей”. Отмеченные особенности трактовки термина будут рассмотрены в рубрике “Вопрос – Ответ” № 9 журнала.

В 2017 г. вступил в действие СП 258.1311500.2016 “Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности” (далее — СП 258) [4], устанавливающий требования пожарной безопасности при проектировании, строительстве новых и реконструкции существующих зданий, сооружений и помещений объектов религиозного назначения. Для того чтобы можно было применять СП 258 [4] совместно с ФЗ № 123 [1], в последний был включен новый класс функциональной пожарной опасности зданий и сооружений — ФЗ.7 “объекты религиозного назначения”. В то же время СП 258 [4] до сих пор не включен в Перечень документов в области стандартизации [5], а значит, не является документом, обеспечивающим соблюдение требований ФЗ № 123 [1] (по формальному признаку). При этом согласно письму ФГУ ВНИИПО МЧС России от 14.03.2017 № 1347эп-13-4-4 “О разъяснении требований нормативных документов по пожарной безопасности” говорится о том, что СП 258 [4] “*введен в действие и подлежит применению с 1 января 2017 г.*”. Перечень [5] периодически дополняется, поэтому указанное выше несоответствие в скором времени должно быть устранено.

В заключение следует отметить, что собственник вправе самостоятельно решать, каким из путей он обеспечит соблюдение требований пожарной безопасности. В случае отсутствия возможности реализации всех положений нормативных документов для культовых зданий и сооружений с массовым пребыванием людей собственник может выполнить расчет пожарного риска (см. п. 8.1.2 СП 258 [4]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.06.2018).
2. СП 31-103–99. Здания, сооружения и комплексы православных храмов. — Введ. 27.12.1999. — М. : Госстрой России, 2000.
3. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. 30.12.2017) : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 // Собрание законодательства РФ. — 2012. — № 19, ст. 2415.
4. СП 258.1311500.2016. Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.01.2017. — М. : Стандартинформ, 2017.

5. Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (с изм. на 25.02.2016) : утв. приказом Росстандарта от 16.04.2014 № 474. — Введ. 16.04.2014 // Вестник технического регулирования. — 2014. — № 5.

Для цитирования: Харламенков А. С. Требования пожарной безопасности к культовым сооружениям // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 89–90.

English

FIRE SAFETY REQUIREMENTS FOR RELIGIOUS BUILDINGS

KHARLAMENKOV A. S., Employee of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru)

ABSTRACT

The normative documents on fire safety of religious buildings are considered. The necessary information on the specifics of the design and construction of religious facilities is presented. Clarifications on the procedure for applying existing norms and rules of fire safety for the religious buildings with the massive stay of people are given. Inconsistencies when using existing fire safety requirements for the above objects are noted.

Keywords: religious buildings; fire safety; fire prevention regime; buildings with massive stay of people; normative documents.

For citation: Kharlamenkov A. S. Fire safety requirements for religious buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 89–90 (in Russian).

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

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 адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

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

2.3. Информация об авторах.

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

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

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ве-

домству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), так как это затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.4. Аннотация на русском языке должна состоять не менее чем из 5–7 предложений и не должна содержать обобщенные данные по выбранной для статьи теме. Аннотация к научной статье представляет собой краткое описание содержания изложенного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы).

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

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

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

Сокращения и условные обозначения, кроме общепотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом упоминании в тексте резюме.

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

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов “and” (и), “of” (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей “a”, “the” и т. п.

2.7. Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

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

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются 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 печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

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

Для двуязычного представления табличного и графического материала необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подписочной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

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

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

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т. п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

Не менее половины источников должно быть включено в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

Не следует включать в список литературы ГОСТы; ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф.И.О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т. п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

2.9. References (пристатейные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- авторы (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа вверх флажок “Американская (для визы США)”); если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: Sokolov D. N., Vogman L. P., Zuykov V. A. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian) (другие примеры см. www.fire-smi.ru).

3. К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

4. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

5. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента. Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

6. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, предоставившие рукопись для публикации в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!



При поддержке Правительства Республики САХА (Якутия)



Информационные технологии.Связь Телекоммуникации. Безопасность.

**6-8 ноября 2018 г.
г. ЯКУТСК**

Организаторы:



**Выставочная компания
Сибэкспосервис
г. Новосибирск**

Тел: (383) 3356350
E-mail: vk ses@yandex.ru
www.ses.net.ru



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
испытательной лаборатории РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.