

4-2015

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОБЩАЯ
ПОЛЬЗА – ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ
КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ
ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ





Системы видеонаблюдения



Охранно-пожарные системы



Системы контроля доступа



Шлагбаумы и автоматика ворот



Кабели и проводники



Вспомогательное оборудование

ПОКУПАЙ ДЕШЕВЛЕ

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ Веществ и материалов

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

БАРБОТЬКО С. Л., ВОЛЬНЫЙ О. С.,
КИРИЕНКО О. А., ШУРКОВА Е. Н.
Особенности испытаний авиационных материалов
на пожароопасность. Часть 3. Испытания
на дымообразование. Влияние толщины монолитного
образца полимерного композиционного материала

7

BARBOTKO S. L., VOLNYY O. S.,
KIRIENKO O. A., SHURKOVA E. N.
Features the testing of aviation materials
on fire safety. Part 3. Test on smoke density.
Influence of sample thickness on registered
characteristics

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

БАЛАКИН В. М., ГАЛЛЯМОВ А. А.,
СМОЛЬНИКОВ М. И., ПОСТНИКОВ С. В.
Огнезащитные составы для древесины на основе
продуктов деструкции полиуретанов диэтиленetriамином

23

BALAKIN V. M., GALLYAMOV A. A.,
SMOLNIKOV M. I., POSTNIKOV S. V.
Fireproof structures for wood on the basis of products
of destruction of polyurethanes by diethylenetriamine

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

КОМАРОВ А. А., ВАСЮКОВ Г. В.,
ЗАГУМЕННИКОВ Р. А., БУЗАЕВ Е. В.
Экспериментальное исследование и численное
моделирование процесса образования взрывоопасной
метановоздушной смеси в помещениях

30

KOMAROV A. A., VASYUKOV G. V.,
ZAGUMENNIKOV R. A., BUZAEV E. V.
Experimental study and numerical simulation
of methane-air mixture formation process
in premises

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

МЕРЗЛЯКОВ В. Г., ДЕРЕВЯШКИН И. В.
Разработка мероприятий по предотвращению
воспламенений метана и угольной пыли при работе
выемочных и проходческих машин

39

MERZLYAKOV V. G., DEREVYASHKIN I. V.
Development of measures to prevent ignition
of methane and coal dust excavation
and tunneling machines

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ОРЛОВ Г. Г., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я.
Определение величины и характера взрывных нагрузок
при применении инерционных предохранительных
конструкций

47

ORLOV G. G., KOROLCHENKO D. A., KOROLCHENKO A. Ya.
Determination of the value and character
of the explosive loads in case of using
of the inertial safety constructions

КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ГЕТАЛО Д. П.
Противопожарные шторы (обзор)

56

KOROLCHENKO A. Ya., GETALO D. P.
Fire shields (review)

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

FIRE ENGINEERING

САРАЕВ И. В., БУБНОВ А. Г., КУРОЧКИН В. Ю.,
МОИСЕЕВ Ю. Н., СЕМЕНОВ А. Д.
Относительная общая польза – дополнительный
комплексный критерий выбора пожарных рукавов

66

SARAEV I. V., BUBNOV A. G., KUROCHKIN V. Yu.,
MOISEEV Yu. N., SEMENOV A. D.
Avail total advantage – additional criterion
of the fire hoses choice

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТАРАНЦЕВ А. А.
Методика определения мест дислокации поэтапно
создаваемых пожарных частей в сельской местности
и корректировки границ районов выезда

72

TARANTSEV A. A.
Technique of definition of places of a dislocation
step by step the created firefighters parts in rural areas
and corrections of boundaries of areas of departure

ВОПРОС – ОТВЕТ

79

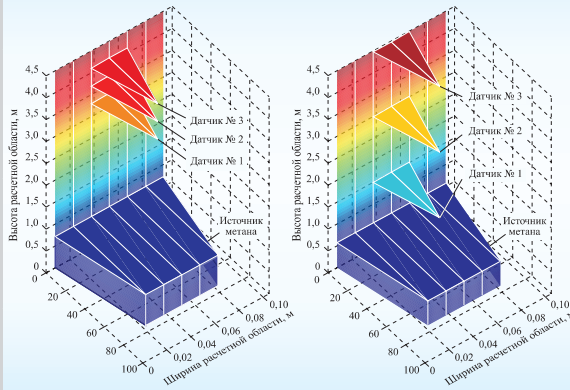
QUESTION – ANSWER

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

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

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

Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Формирование газозвушной смеси в помещении

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель —
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

Адрес редакции: 121357, Россия, г. Москва,
ул. Версаева, д. 10.

Адрес для переписки: 121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

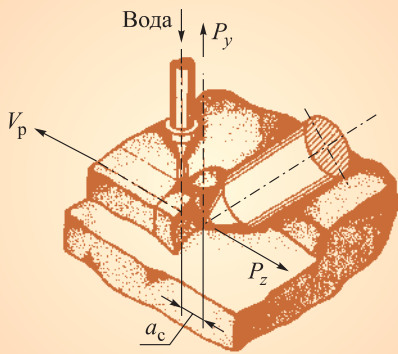
Подписано в печать 13.04.2015. Выход в свет 25.04.2015.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "КОДА"

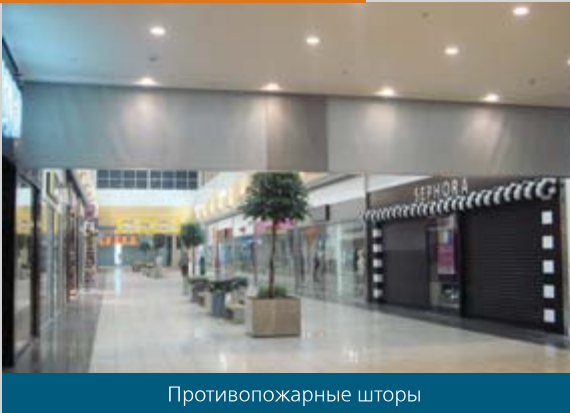
(105082, Россия, г. Москва, Спартаковский пер., д. 2, стр. 1).



Стр. 30

Предотвращение воспламенений метана и угольной пыли

Стр. 39



Противопожарные шторы

Стр. 56



Стр. 66

Комплексный критерий выбора пожарных рукавов

Стр. 72



Определение мест дислокации пожарных частей



Founder:
"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

Editor-in-Chief **Korolchenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Veresaeva St., 10, Moscow,
121357, Russia.

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

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

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

Signed for printing 13.04.2015

Date of publication 25.04.2015

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korolchenko A. Ya.,

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

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Baratov A. N.,

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

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

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

Korolchenko D. A.,

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

Mishuev A. V.,

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

Puzach C. V.,

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

Roytman V. M.,

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

Serkov B. B.,

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

Tamrazyan A. G.,

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

Telichenko V. I.,

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

Topolskiy N. G.,

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

Kholshchevnikov V. V.,

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

Shebeko Yu. N.,

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

Shields T. J.,

Professor (Great Britain)

27–29 мая

Красноярск 2015



XI специализированный форум-выставка

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности



- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность
- Безопасность промышленного комплекса

*Ежегодно в выставке принимает участие более 9 000 человек,
46 % из которых – специалисты отрасли*



Организаторы:



РЕКЛАМА

МВДЦ «СИБИРЬ», ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-400, 22-88-611 – круглосуточно
ccb@krasfair.ru
www.krasfair.ru

ПРИГЛАШАЕМ
ПРИНЯТЬ
УЧАСТИЕ



Комплексная безопасность

VII Всероссийская специализированная выставка

15-17 СЕНТЯБРЯ/ 2015

- ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ
- ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ СИЛОВЫХ СТРУКТУР
- КОНКУРС ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК «ЕСТЬ ИДЕЯ!»

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ОБЩЕСТВЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС
БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ



ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
МНС РОССИИ
ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ



МИНИСТЕРСТВО
ВНУТРЕННИХ ДЕЛ
ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДА ИЖЕВСКА



УДМУРТСКАЯ
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ
ПАЛАТА



ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
«УДМУРТИЯ»



ЧЛЕН
РОССИЙСКОГО
СОЮЗА ВЫСТАВОК
И ФАЙРСОВ

РЕКЛАМА

Место проведения:
г. Ижевск, Центральная площадь, мобильный павильон

Забронировать стенд можно по тел. (3412) 730-730
safe@vcudm.ru | safe.vcudm.ru | vk.com/izh_safe

С. Л. БАРБОТЬКО, канд. техн. наук, начальник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: slbarbotko@yandex.ru)

О. С. ВОЛЬНЫЙ, ведущий инженер лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

О. А. КИРИЕНКО, канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

Е. Н. ШУРКОВА, инженер 2-й категории лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

УДК 614.841.345:629.7.042.2

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ.

Часть 3. Испытания на дымообразование.

Влияние толщины монолитного образца полимерного композиционного материала

Показано, что согласно требованиям авиационных нормативных документов материалы внутренней отделки пассажирских салонов должны быть проверены на дымообразующую способность с проведением испытаний по ГОСТ 24632–81. Показано также, что в отличие от описанного в п. 4.18 ГОСТ 12.1.044 метода определяемая согласно ГОСТ 24632 дымообразующая способность относится к площади материала, а не к его массе, поэтому при использовании полимерных материалов авиационного назначения различной толщины возникает необходимость в испытании образцов каждого варианта. Проанализирован зарубежный опыт, проведены исследования и обобщены данные по влиянию толщины различных типов монолитных композиционных материалов на регистрируемые показатели дымообразования.

Ключевые слова: дымообразование; толщина; полимерный композиционный материал; стеклопластик; углепластик; авиационные нормы.

Введение

Одним из важнейших показателей, характеризующих пожарную безопасность материала, является его дымообразующая способность. Значимость этого показателя определяется не только тем, что наличие дыма снижает видимость, затрудняя эвакуацию, но и тем, что интенсивность дымообразования косвенно связана с токсичностью продуктов горения, обусловленной неполнотой сгорания полимеров, а следовательно, дымообразование влияет на выживаемость людей, оказавшихся в зоне воздействия опасных факторов пожара (ОФП).

Наибольшее распространение в отделке и конструкциях авиационной техники получили полимерные композиционные материалы (ПКМ), поэтому исследование особенностей горения именно таких

материалов в условиях пожара представляет первоочередной интерес.

Как и подавляющее большинство показателей пожарной опасности, оптическая плотность образующегося при сгорании материала дыма не является физико-химической константой вещества, а зависит от условий термоокислительной деструкции и способа регистрации. Оценке дымообразующей способности ПКМ и совершенствованию методик ее измерения для данных материалов, в частности авиационного назначения, придается большое значение [1–6].

В связи с этим необходимо рассмотреть и сопоставить основные, наиболее часто используемые методы измерения дымообразования и выявить основные факторы, влияющие на характеристики дымо-

образования ПКМ, значения которых регламентируются авиационными нормами.

Сопоставление методов оценки дымообразующей способности

В настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике дымообразование материалов характеризуется преимущественно оптической плотностью дыма. Оптическая дымообразующая способность материалов может определяться при помощи ряда специализированных методов, различающихся как конструкцией испытательного оборудования, условиями сжигания образца, так и регистрируемыми характеристиками.

Все используемые методы по определению оптической плотности дыма условно могут быть разделены на два типа: 1) определение дымообразования в условиях замкнутого объема испытательной камеры; 2) измерение оптической плотности отходящих дымовых газов. В первом случае используется камера, в которой осуществляется сжигание образца в тех или иных условиях, при этом весь образующийся в течение эксперимента дым остается внутри камеры. Во втором случае происходит постоянное удаление продуктов горения от горящего образца, а их оптическая плотность измеряется в отводящей дымовой трубе. Анализ и сопоставление методов по оценке дымообразования в различных отраслях промышленности в России, США и странах Евросоюза приведены, например, в [7].

В зарубежной научно-исследовательской и квалификационной практике наиболее широкое распространение получили следующие методы.

1. Методы определения дымообразования в камерах с замкнутым объемом

Дымовая камера NBS. Подробно конструкция испытательного оборудования описана в стандарте ASTM E662 [8]. Данная камера применяется для оценки материалов, используемых в транспортном машиностроении (на железнодорожном транспорте [8], в судостроении [9, 10], в авиации [11]), электрокабельных изделий, строительных материалов, а также для сравнительных испытаний материалов в исследовательской практике. Для испытаний используется камера объемом $0,51 \text{ м}^3$, образцы размером $75 \times 75 \text{ мм}$ и толщиной до 25 мм . Испытания проводятся в режиме горения или пиролиза. В режиме пиролиза на образец воздействует только тепловой поток, в режиме горения — тепловой поток и пламя горелки, инициирующей воспламенение. При испытаниях по ASTM E662 [8] или ASTM F814 [11] ориентация образца вертикальная, величина падающего теплового потока на образец 25 кВт/м^2 . При испытаниях по ASTM E1995 [10] ориентация об-

разца горизонтальная, величина падающего теплового потока на образец 50 кВт/м^2 . Для снижения вероятности уменьшения количества выделяющегося дыма за счет попадания его на расположенный над образцом нагреватель последний выполнен в форме усеченного конуса с открытой верхней частью.

Дымовая камера по ASTM D2843 [12] (аналоги среди стандартов ISO отсутствуют). Камера имеет размеры $300 \times 300 \times 790 \text{ мм}$. Образец размером $25 \times 25 \times 6 \text{ мм}$ сжигается в ней в пламени пропановой горелки. Дополнительный тепловой поток на образец от нагревателя отсутствует. Оптическая плотность дыма определяется по изменению интенсивности проходящего горизонтального луча света. Данный метод используется для оценки дымообразования пластиков, используемых в строительстве [13, 14].

Полномасштабные испытания в огневой камере по ASTM E1537 [15] (аналог — ISO 9705). В качестве камеры используется помещение размером $2,44 \times 3,66 \times 2,44 \text{ м}$ или $3,05 \times 3,66 \times 2,44 \text{ м}$. В камере осуществляется сжигание полномасштабного образца мебели.

2. Методы определения дымообразования в проточной среде

Как правило, данные методы используются для получения дополнительной информации по дымообразованию при проведении испытаний по определению какой-либо другой характеристики пожарной опасности.

Для материалов строительного назначения согласно [13, 14] наряду с индексом распространения пламени по методу 24-футовой тоннельной печи устанавливается и коэффициент дымообразования [16]. При определении тепловыделения при горении по методам [17, 18] возможно измерение оптической плотности отходящих дымовых газов.

3. Основные методы определения дымообразования в России

В отечественной практике наиболее широко используется метод определения дымообразующей способности материалов, изложенный в п. 4.18 ГОСТ 12.1.044 [19]. Испытания проводят на образцах размером $40 \times 40 \text{ мм}$, имеющих фактическую толщину, но не более 10 мм . В отличие от зарубежных методов [8–11] для определения коэффициента дымообразования необходимо проведение испытаний при различной величине тепловых потоков с установлением наихудшего режима, обеспечивающего наибольшее дымообразование.

Для оценки материалов авиационного назначения и продукции электрокабельной промышленности в России и других странах бывшего СССР ис-

пользуется ГОСТ 24632 [20]. Камера, образцы и процедура выполнения испытаний практически аналогичны описанным в [8]. Величина теплового потока во всех испытаниях одинакова — 25 кВт/м².

Конструкция камер и методика проведения испытаний по [19] и [8] имеют несколько принципиальных отличий. Конструктивные различия выражаются в расхождениях по размерам образца, его ориентации, источнику теплового потока, объему испытательной камеры. Имеется различие также в формулах по расчету оптической плотности дыма.

Расчет оптической плотности проводится по формулам:

- по ГОСТ 12.1.044, п. 4.18 [19]:

$$D_m = \frac{V}{Lm} \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (1)$$

- где D_m — коэффициент дымообразования, м²/кг;
 V — вместимость камеры измерения, м³;
 L — длина пути луча в задымленной среде, м;
 m — масса образца, кг;
 T_0, T_{\min} — значения соответственно начального и конечного светопропускания, %;
- по ГОСТ 24632 [20], ASTM E662 [8] и ASTM F814 [11]:

$$D_s = \frac{V}{LS} \lg \frac{I_0}{I} = 132 \lg \frac{I_0}{I} = 132 \lg \frac{100}{T}, \quad (2)$$

- где D_s — удельная оптическая плотность, безразмерная величина;
 V — вместимость камеры, равная 0,51 м³;
 L — длина светового пути, м; $L = 0,915$ м;
 S — площадь экспонируемой поверхности образца, м²; $S = 4,225 \cdot 10^{-3}$ м²;
 I_0, I — интенсивность светового потока соответственно в начальный момент времени и в процессе испытания;
 T — светопропускание, %.

Коэффициент дымообразования по ГОСТ 12.1.044 (п. 4.18) определяется при условии максимально возможного снижения видимости (достижения абсолютного максимума светопоглощения как по времени, так и по тепловому потоку и режиму испытания).

В отличие от пожаров в зданиях эвакуация из самолетов должна быть проведена в течение не более 90 с после возникновения наземной аварийной ситуации, поэтому основными требованиями по дымообразующей способности являются не максимально возможные значения удельной оптической плотности дыма, а ее величина за сравнительно небольшой промежуток времени. Согласно требованиям нормативного документа корпорации Airbus ATS-1000.001 [21] нормируемыми по дымообразованию являются показатели за 90 и 240 с при испытании в режимах пиролиза и горения. В соответствии с современными

нормами корпораций Airbus (АИТМ 2.007В) и Boeing (BSS 7338) регламентируется интенсивность дымообразования только за 4 мин, при этом испытания должны проводиться в двух режимах (горение и пиролиз). Для материалов авиационного назначения согласно требованиям отечественных норм, действовавших в 80–90-х годах XX века, НЛГС-3 [22] нормируемыми показателями являлись удельная оптическая плотность дыма за первые 2 мин (D_2) и 4 мин (D_4)*, а также максимально достигаемая в процессе эксперимента (D_{\max}). Какие именно показатели нормировались (за 2 и 4 мин, или за 4 мин и максимальное дымообразование) и какие допустимые значения их принимались, зависело от функционального назначения материала. В действующих в настоящее время государственных (федеральных) авиационных нормах, как отечественных (АП-25 [23]), так и зарубежных (FAR-25 [24], CS-25 [25]), нормируемой характеристикой является удельная оптическая плотность дыма только за 4 мин и при испытаниях только в режиме горения (FAR и CS), причем требования распространяются исключительно на панели стен, перегородок и потолка. В настоящее время международным сообществом рассматривается возможность и необходимость введения государственных требований, которые бы распространялись на более широкую номенклатуру материалов и конструктивных элементов, в том числе на материалы внешнего контура авиационной техники.

Поскольку при проведении испытаний материалов авиационного назначения жестко установлена величина постоянного теплового потока на образец (25 кВт/м²), необходимость в проведении исследований по влиянию величины падающего теплового потока на характеристики материалов авиационного назначения в данный момент времени отсутствует.

В конструктивных и отделочных элементах авиационной техники используется широкая номенклатура разнообразных материалов различной толщины. Например, толщина стеклопластиков может быть от 0,2 мм (шторка) до 15 мм (силовой каркас кресла); толщина панелей в отделке интерьера (перегородки кабин) — от 3 до 50 мм. В связи с тем что в качестве показателя дымообразования выбрана удельная оптическая плотность, относящаяся к единице площади поверхности образца, а не к ее массе, необходимо оценивать дымообразование материалов

* В отечественной практике (ГОСТ 24632, НЛГС-3, АП-25), как правило, используют обозначения D_2 и D_4 для 2- и 4-минутных интервалов соответственно. В зарубежной практике чаще применяют обозначения с индексами, выраженными в секундах, — D_{90} и D_{240} для 1,5- и 4-минутных интервалов соответственно. В настоящей работе было принято решение использовать индексы, указывающие интервал измерения в секундах, т. е. D_{90} , D_{120} и D_{240} для 1,5-, 2- и 4-минутных интервалов соответственно.

для каждой используемой толщины. В работе [1] отмечается сложный характер измерения дымообразования с увеличением толщины и даны квалификационные ряды для оценки данной характеристики для различных типов материалов и конструктивных элементов.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния толщины монолитных полимерных композиционных материалов (стекло- и углепластики) авиационного назначения как непосредственно на кинетику дымообразования, так и на нормируемые характеристики. Эта работа является продолжением ряда работ, посвященных методическим особенностям испытаний материалов авиационного назначения на пожарную опасность [26–28] и др.

Образцы и материалы, использованные для исследований

ФГУП «ВИАМ» на протяжении более 80 лет занимается разработкой авиационных материалов, в том числе свыше 40 лет — исследованиями по пожарной безопасности материалов и конструктивных элементов авиационного назначения. В соответствии со стратегическими направлениями развития авиационного материаловедения проводятся исследования, разработка, квалификация и внедрение новых материалов [29–31]. Разработан комплекс новых ПКМ на основе различных типов полимерных матриц [32–34]. Проведены обширные квалификационные испытания, в том числе по определению климатической стойкости и эксплуатационному ресурсу [35–39].

Одной из важнейших задач, требующих решения для обеспечения безопасности, является обоснование и подтверждение достаточного объема выполненных работ по определению характеристик пожарной безопасности, в частности дымообразующей способности.

Целью настоящей работы являлось проведение исследований по определению кинетики дымообразования при выполнении стандартных испытаний и влияния толщины монолитных образцов четырех марок стеклопластиков (ВПС-41, ВПС-42п, ВПС-47 и ВПС-48) и пяти марок углепластиков (ВКУ-28, ВКУ-29, ВКУ-32, ВКУ-33, ВКУ-39) на регистрируемые характеристики.

Аппаратура и методы проведения испытаний

Для определения дымообразования полимерных материалов авиационного назначения применяли методы в соответствии с требованиями авиационных норм: отечественных АП-25 (приложение F, часть V) — ГОСТ 24632–81 [20], американских FAR-25 [24]

и европейских CS-25 (приложение F, часть V) [25] — ASTM F814 [11]. Экспериментальное оборудование идентично для обоих стандартов. При выполнении данных исследований применяли дымовую камеру марки SD#1 производства “Govmark” (США) по ASTM E662 [8].

Испытания материалов проводили при постоянном тепловом потоке на образец 25 кВт/м^2 в режимах пиролиза (воздействие только теплового потока) и горения (воздействие теплового потока и пламени, инициирующего воспламенение). Для каждого режима испытаний и каждой толщины материала было проведено по три параллельных испытания с автоматической регистрацией оптической плотности газовой среды с интервалом 5 с.

На основе полученных кинетических кривых определяли данные по оптической плотности дыма (кинетические характеристики дымообразования) за 1,5 мин (D_{90}), 2 мин (D_{120}), 4 мин (D_{240}), а также максимально достигаемое дымообразование в процессе эксперимента (D_{max}) и время достижения максимальной оптической плотности дыма.

Согласно ASTM F814 [11] длительность эксперимента составляла 5 мин, однако при выполнении данной работы эксперимент останавливали только после прекращения увеличения оптической плотности дыма (т. е. по достижении максимальной оптической плотности).

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены кинетические кривые изменения оптической плотности дыма образцов стекло- и углепластиков толщиной от 0,5...1,0 до 2,5...4,0 мм. Видно, что с увеличением толщины, как правило, возрастает и максимальная дымообразующая способность. Одновременно происходит увеличение периода индукции (время с момента начала испытания до интенсивного дымообразования) и изменение (как в меньшую, так и в большую сторону) скорости выделения дыма. Так как согласно требованиям авиационных норм основным критерием оценки является не максимально возможное дымообразование, а оптическая плотность, достигаемая за определенное время, наибольший интерес представляет задача по установлению основных закономерностей изменения кинетических параметров дымообразования в зависимости от толщины образца.

На рис. 3 и 4 представлены кривые изменения нормируемых характеристик дымообразования в зависимости от толщины образцов ПКМ. Как видно из графиков, кинетические характеристики дымообразования D_{90} , D_{120} и D_{240} для образцов малой толщины (менее 1 мм) возрастают с увеличением

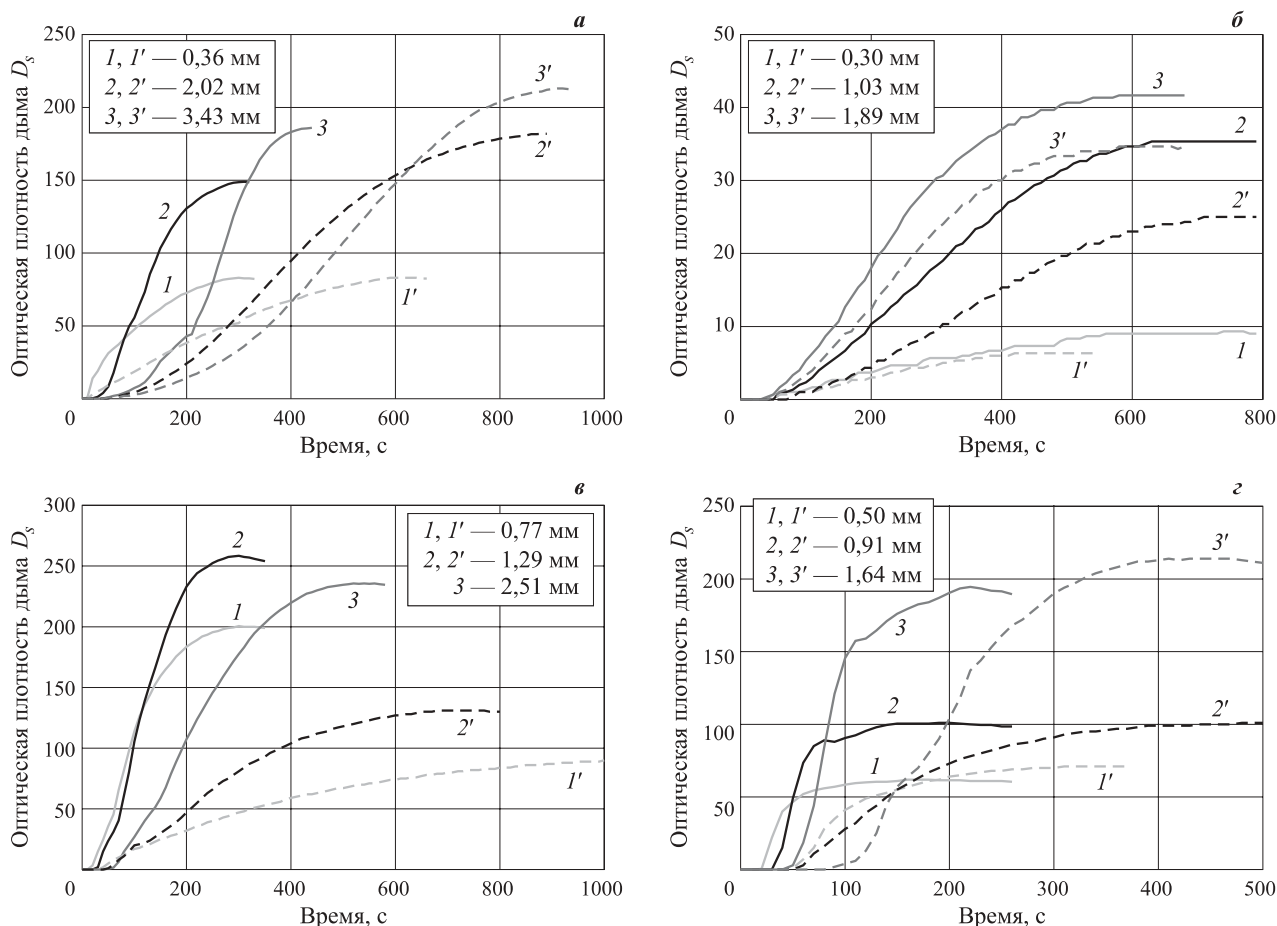


Рис. 1. Кинетика изменения оптической плотности дыма при испытании в режиме горения (1–3) и пиролиза (1'–3') стеклопластиков: а — ВПС-41; б — ВПС-42п; в — ВПС-47; г — ВПС-48

их толщины как в режиме горения, так и в режиме пиролиза. При дальнейшем увеличении толщины происходит выход на плато (максимум), а затем — снижение до нулевого значения. Толщина, при которой наблюдается максимум, зависит от вида материала (полимерного связующего), режима испытания и временной (кинетической) характеристики (т. е. D_{90} , D_{120} или D_{240}). Для исследованных марок материалов максимальные значения характеристик D_{90} и D_{120} наблюдались у образцов толщиной 0,5...1,0 мм в режиме горения и 0,5...1,5 мм в режиме пиролиза. Для интервала 240 с максимальные значения характеристики D_{240} достигались при толщине образцов 1,5...2,0 мм.

Согласно работе [1] при выполнении квалификационных испытаний образцов материалов и конструктивных элементов в настоящее время действует следующая практика: “**Except** for foam core panels with prepreg skins where each thickness will be tested, use the following approach Sandwich panels, laminates, thermoplastic parts, and parts made from a single material are shown to be compliant with § 25.853(d) (appendix F, parts IV and V) by test, or by similarity to a part with similar thickness (in the same thickness range).

For certification purposes, thickness ranges are defined to eliminate the need to test every possible thickness. It is an acceptable practice to test a given thickness within a tight range and use these data to substantiate all thicker items within that range. The following table details standard thickness ranges currently used”. То есть: “**За исключением** панелей с сердцевинной из пены с обшивками из препрега, для которых каждая толщина должна быть проверена, используется следующий подход к сэндвич-панелям, слоистым пластикам, деталям из термопластов и сделанным из отдельного материала для показа соответствия § 25.853(d) (приложение F, части IV и V) испытаниям, или подобным образцам (изготовленным по аналогичной технологии) такой же толщины (в том же самом ряду толщин). В целях легализации ряды толщин определены для того, чтобы устранить потребность в проверке каждой возможной толщины. Это является приемлемой практикой, чтобы проверить толщину в точках компактного ряда и использовать эти данные, чтобы доказать допустимость применения всех толщин стандартных деталей в заданном интервале (табл. 1). В ближайшее время согласно [11] эту практику планируется несколько изменить и использо-

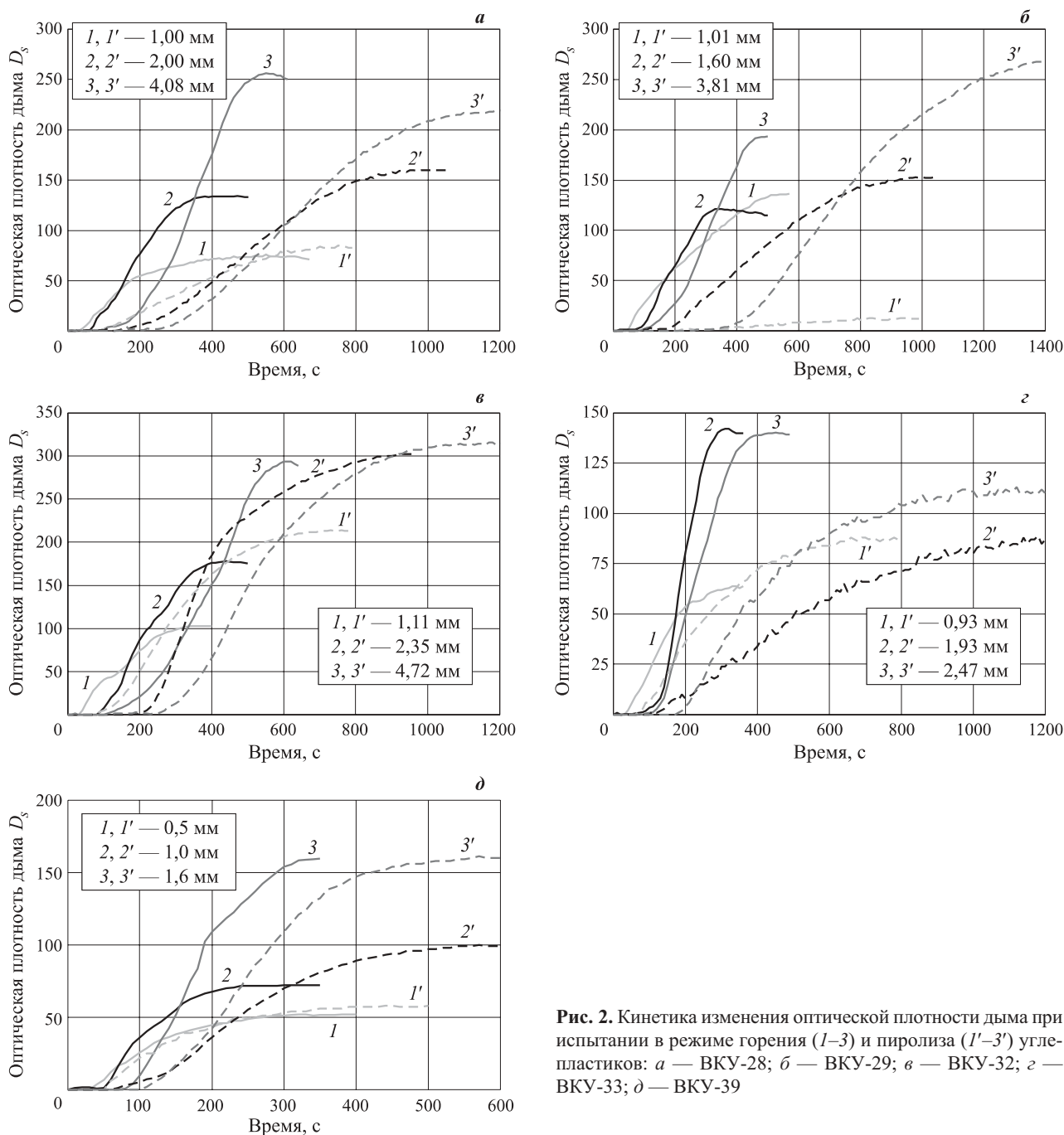


Рис. 2. Кинетика изменения оптической плотности дыма при испытании в режиме горения (1–3) и пиролиза (1'–3') углепластиков: а — ВКУ-28; б — ВКУ-29; в — ВКУ-32; г — ВКУ-39; д — ВКУ-39

вать единый ряд толщин для всех типов материалов и конструктивных элементов (табл. 2).

Из анализа полученных данных следует, что стандартный ряд толщин образцов монолитных материалов обязательно должен включать точки 0,5; 1,0 и 2,0 мм, а также толщину, близкую к предельной (бесконечно толстой) по максимальному дымообразованию, например 5,0 мм. Данный ряд толщин близок к используемому и предлагаемому в [1] рядам, но несколько отличается от них.

Обобщая полученные кривые изменения характеристик ПКМ в зависимости от толщины для различных материалов, можно сделать следующие выводы:

- все кривые изменения характеристик дымообразования (D_{90} , D_{120} , D_{240} , D_{max}) при нулевой толщине, исходя из физического смысла, должны иметь нулевое значение;
- в области малых толщин увеличение толщины образца должно приводить к прямо пропорциональному увеличению данной характеристики дымообразования;
- дальнейшее увеличение толщины приводит к снижению скорости возрастания характеристики дымообразования; имеется некоторая критическая толщина, при которой этот параметр достигает максимальных значений;

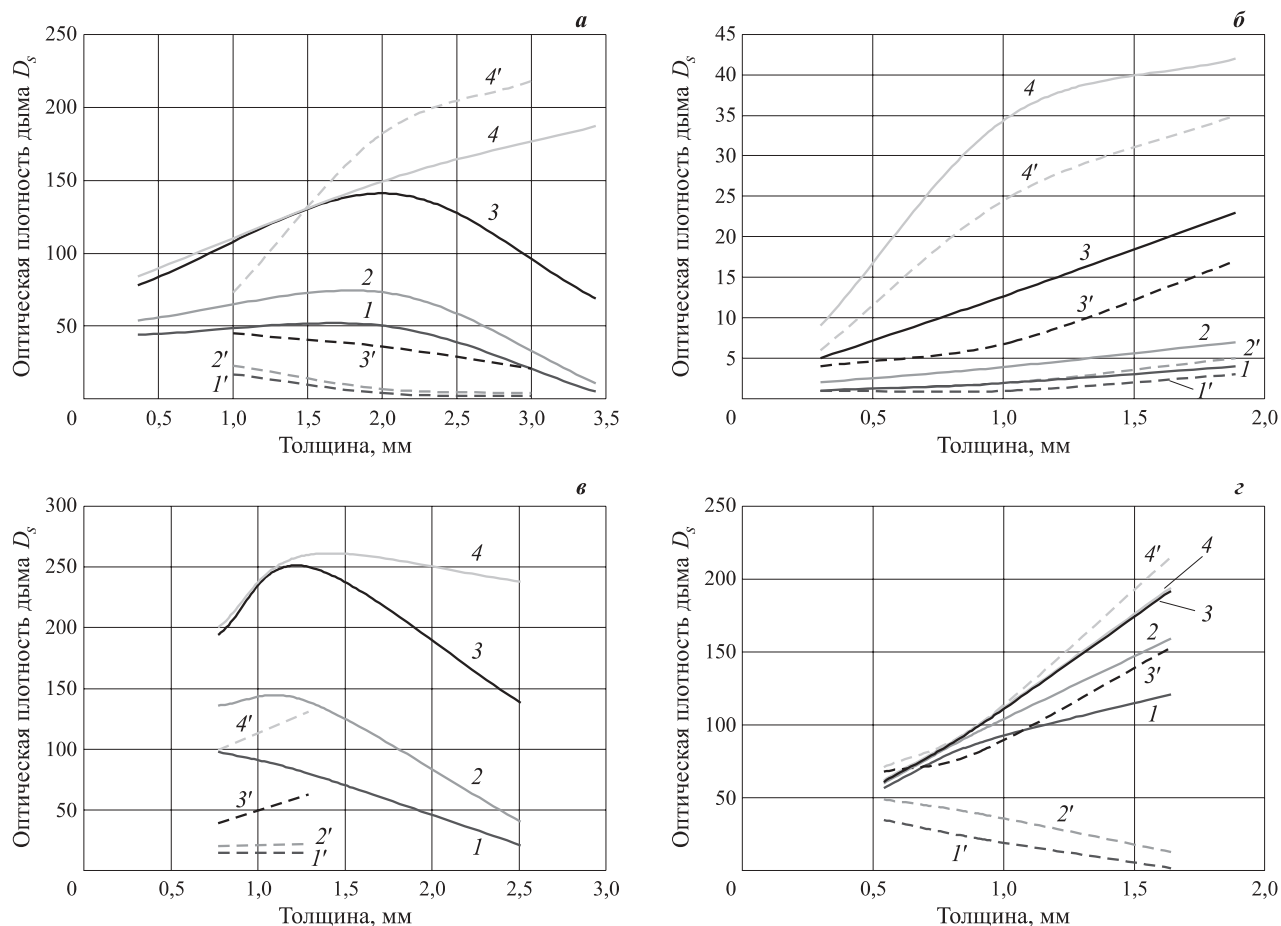


Рис. 3. Изменение основных регистрируемых характеристик дымообразования D_{90} (1, 1'), D_{120} (2, 2'), D_{240} (3, 3') и D_{max} (4, 4') в зависимости от толщины стеклопластиков при испытании в режиме горения (1–4) и пиролиза (1'–4'): а — ВПС-41; б — ВПС-42п; в — ВПС-47; г — ВПС-48

- дальнейшее увеличение толщины образца приводит к снижению кинетических характеристик (D_{90} , D_{120} и D_{240}). В зависимости от характеристик материала кинетические характеристики дымообразования для бесконечно толстого (термически толстого) материала могут снижаться вплоть до нулевого значения. Иначе говоря, нулевое дымообразование для термически толстого материала наблюдается в том случае, если за заданный интервал времени прогрев материала под действием теплового потока не достигает температуры, приводящей к термодеструкции полимера и выделению в газовую фазу конденсированных частиц, которые и вызывают повышение оптической плотности воздушной среды. Уменьшение кинетических характеристик при увеличении толщины материала может быть объяснено повышением затрат на прогрев лицевой поверхности образца до температуры термодеструкции. Наиболее существенно уменьшение дымообразования должно проявляться у материалов, имеющих высокую теплоемкость, теплопроводность и высокую температуру начала термодеструкции (высокая термостойкость).

Максимальное дымообразование в отличие от кинетических характеристик, как правило, не имеет максимума. Изменение характеристики максимального дымообразования с увеличением толщины материала может быть описано уравнением вида:

$$D_{max} = k_3 (1 - e^{-k_2 \delta^m}), \tag{3}$$

где D_{max} — характеристика максимального дымообразования материала;
 k_2, k_3 — коэффициенты;
 δ — толщина образца, мм;
 m — показатель степени.

Изменение характеристик дымообразования (D_{90} , D_{120} и D_{240}) с увеличением толщины образца (в случае снижения характеристики до нулевого значения для термически толстого образца) может быть описано уравнением вида:

$$D_i = k_1 \delta e^{-k_2 \delta^n}, \tag{4}$$

где D_i — характеристика дымообразования (D_{90} , D_{120} или D_{240});
 k_1 — коэффициент;
 n — показатель степени.

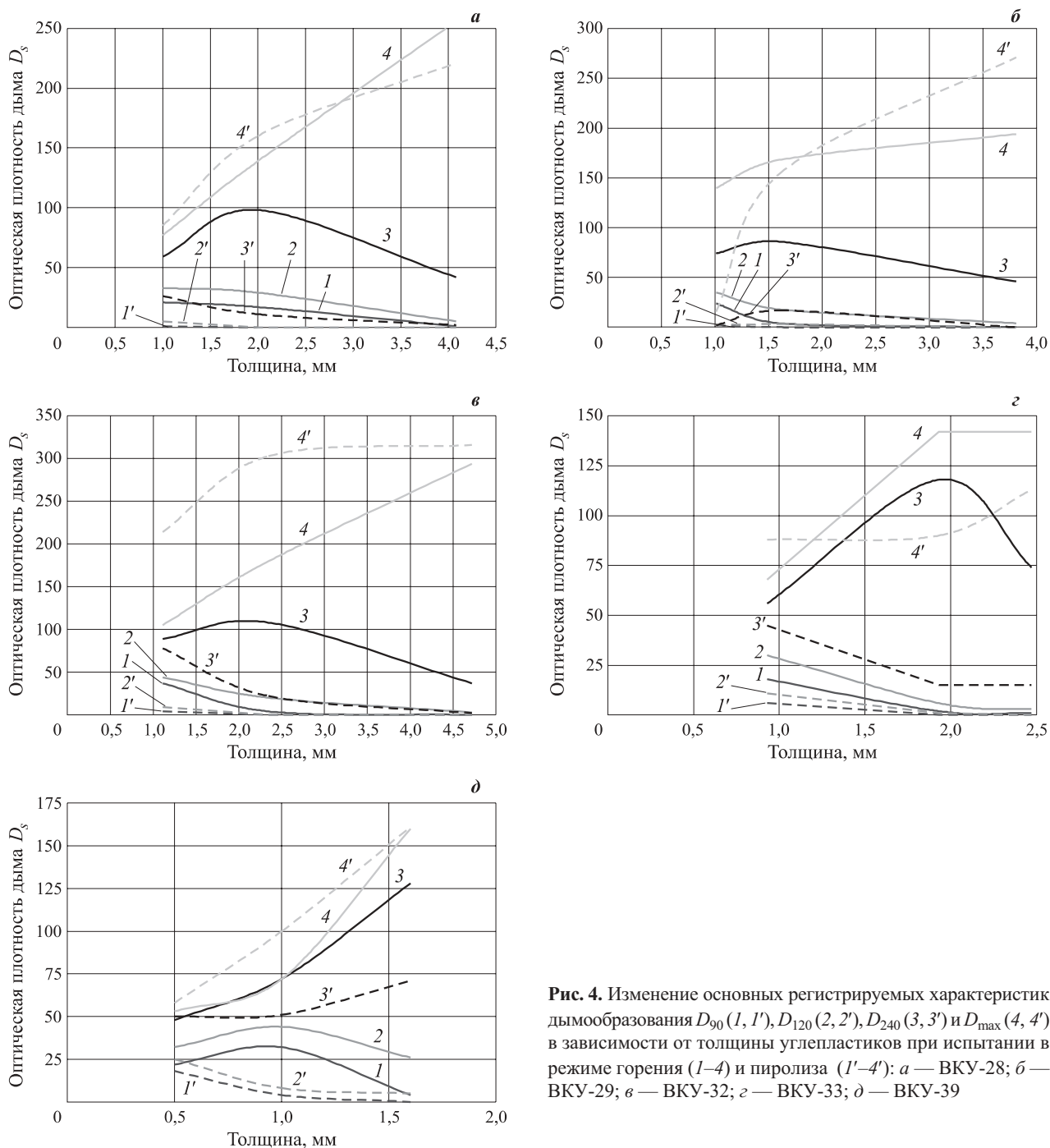


Рис. 4. Изменение основных регистрируемых характеристик дымообразования D_{90} (1, 1'), D_{120} (2, 2'), D_{240} (3, 3') и D_{max} (4, 4') в зависимости от толщины углепластиков при испытании в режиме горения (1–4) и пиролиза (1'–4'): а — ВКУ-28; б — ВКУ-29; в — ВКУ-32; г — ВКУ-33; д — ВКУ-39

Для описания изменения характеристик дымообразования в общем случае, в том числе при кинетических характеристиках для термически толстого материала, отличных от нулевого уровня, уравнения (3) и (4) могут быть объединены и приведены к виду:

$$D_t = k_1 \delta e^{-k_2 \delta^n} + k_3 (1 - e^{-k_2 \delta^m}), \quad (5)$$

где D_t — характеристика дымообразования (D_{90} , D_{120} , D_{240} или D_{max}).

В работе [28] обосновано и применено уравнение аналогичного вида для описания кривых изменения

характеристик тепловыделения с изменением толщины материала, что объясняется схожими условиями термоокислительной деструкции материала в условиях испытаний.

Коэффициенты можно рассчитать непосредственно по экспериментальным кривым изменения кинетических характеристик с увеличением толщины образца, используя метод наименьших квадратов (МНК) или постановку ряда отдельных экспериментов.

Коэффициент k_1 имеет физический смысл как показатель изменения дымообразования с увеличе-

Таблица 1. Действующие ряды толщин образцов материалов для показа соответствия требованиям авиационных норм FAR-25 (приложение F части IV и V) [1]

Тип образца	Интервал толщин, дюймы (мм)
Сэндвич-панель	0,125 (3,2)
	0,188 (4,8)
	0,250 (6,3)
	0,500 (12,7)
	0,750 (19,1)
	1,750 (44,5) и более
Ламинаты и термопласты	0,020 (0,5)
	0,040 (1,0)
	0,060 (1,5)
	0,080 (2,0)
	0,100 (2,5)
	0,200 (5,1)
	0,300 (7,6)
	0,500 (12,7)
	0,750 (19,1)
Детали, выполненные из одной полимерной матрицы	0,080 (2,0)
	0,120 (3,0)
	0,250 (6,3)
	0,50 (12,7)
	1,750 (44,5) и более

Примечание. Перевод единиц измерения в метрическую систему выполнен авторами статьи.

нием толщины при малых толщинах образцов и описывается уравнением

$$k_1 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\Delta D_t}{\Delta \delta} \quad (6)$$

Следовательно, для определения коэффициента k_1 необходимо провести испытания наиболее тонкого образца (пленочного или однослойного композиционного материала толщиной не более 0,1...0,3 мм).

Коэффициент k_3 равен предельному значению характеристики дымообразования для образца бесконечной толщины, т. е.

$$k_3 = \lim_{\delta \rightarrow \infty} D_t \quad (7)$$

Таким образом, для определения коэффициента k_3 необходимо провести испытания образца максимальной толщины. Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что необходимо испытание образцов толщиной не менее 5...10 мм, а в отдельных случаях и более толстых.

После определения коэффициентов k_1 и k_3 на основании уравнения (5) возможен расчет коэффициента k_2 . Однако в связи с высокими погрешнос-

Таблица 2. Планируемый согласно [1] к введению ряд толщин образцов материалов для показа соответствия требованиям авиационных норм FAR-25 (приложение F части IV и V)

Толщина, дюймы (мм)	Испытываемые толщины для показа соответствия, дюймы (мм)
0,02–0,06 (0,5–1,5)	0,02; 0,06 (0,5; 1,5)
0,06–0,10 (1,5–2,5)	0,06; 0,10 (1,5; 2,5)
0,10–0,25 (2,5–6,0)	0,10; 0,25 (2,5; 6,0)
0,25–0,50 (6,0–12,5)	0,25; 0,50 (6,0; 12,5)
0,5–1,0 (12,5–25,5)	0,5; 1,0 (12,5; 25,5)
1,00–1,75 (25,5–44,5)	1,00; 1,75* (25,5; 44,5*)
1,75 и более (44,5 и более)	1,75* (44,5*)

* Образцы 1,75 дюйма (44,5 мм) и толще не испытываются на дымообразование.
Примечание. Перевод единиц измерения в метрическую систему выполнен в [1].

тями по определению коэффициента k_1 при проведении испытаний очень тонких материалов и неопределенностью достижения предельных значений коэффициента k_3 более целесообразно выполнять расчеты по методу МНК.

В качестве примера в табл. 3 приведены варианты расчетов коэффициентов для материала ВПС-41 с использованием МНК (полученные значения округлены до трех значащих цифр).

При выполнении расчетов были приняты следующие граничные условия:

- величина коэффициента k_3 не может превышать D_{max} для образцов толщиной 3,43 мм более чем в 1,3 раза;
- показатели степени n и m не могут иметь нулевое или отрицательное значение (задано, что минимальное значение составляет не менее 0,1).

При расчетах толщина образца была выражена в миллиметрах. Адекватность полученного уравнения

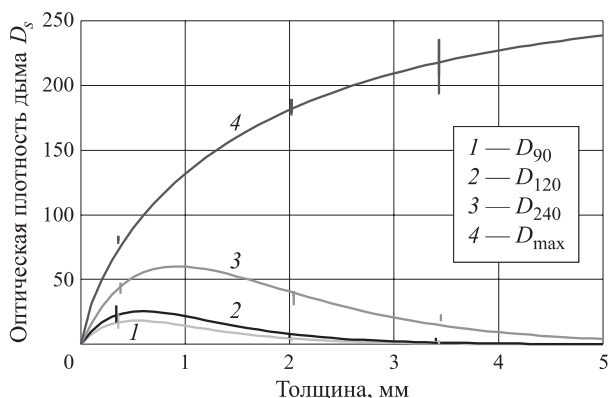


Рис. 5. Расчетные зависимости основных регистрируемых характеристик дымообразования от толщины стеклопластика ВПС-41 при испытании в режиме пиролиза

Таблица 3. Результаты расчета коэффициентов уравнений для материала ВПС-41 при различных кинетических характеристиках дымообразования и математических моделях

Характеристика дымообразования (режим испытания)	Вариант расчета	Номер уравнения	Задаваемые параметры и их значения	Рассчитываемые параметры и полученные значения	Коэффициент корреляции R^2
D_{\max} (горение)	1	(3)	$m = 1$	$k_3 = 173; k_2 = 1,69$	0,951
	2	(3)	–	$k_3 = 243; k_2 = 0,710; m = 0,536$	0,993
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 0,030; k_3 = 173; k_2 = 1,69$	0,951
	4	(5)	$n = 1$	$k_1 = 0,030; k_3 = 243; k_2 = 0,710; m = 0,536$	0,993
D_{\max} (пиролиз)	1	(3)	$m = 1$	$k_3 = 220; k_2 = 1,00$	0,995
	2	(3)	–	$k_3 = 268; k_2 = 0,678; m = 0,739$	1,000
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 0,000; k_3 = 220; k_2 = 1,00$	0,995
	4	(5)	$n = 1$	$k_1 = 0,000; k_3 = 268; k_2 = 0,678; m = 0,739$	1,000
D_{90} (горение)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 193; k_2 = 1,09$	0,971
	2	(4)	–	$k_1 = 130; k_2 = 0,444; n = 1,88$	1,000
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 193; k_3 = 0,000; k_2 = 1,09$	0,971
	4	(5)	$m = 1$	$k_1 = 130; k_3 = 0,000; k_2 = 0,444; n = 1,88$	1,000
	5	(5)	$n = 2; m = 1$	$k_1 = 128; k_3 = 1,84; k_2 = 0,408$	1,000
D_{90} (пиролиз)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 92,1; k_2 = 1,86$	0,995
	2	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 99,4; k_3 = 1,84; k_2 = 2,24$	1,000
	3	(5)	$n = 2; m = 1$	$k_1 = 85,8; k_3 = 3,00; k_2 = 5,91$	0,992
D_{120} (горение)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 237; k_2 = 1,01$	0,973
	2	(4)	–	$k_1 = 160; k_2 = 0,412; n = 1,83$	1,000
	3	(4)	$n = 2$	$k_1 = 155; k_2 = 0,353$	1,000
	4	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 237; k_3 = 0,000; k_2 = 1,01$	0,973
D_{120} (пиролиз)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 117; k_2 = 1,69$	0,988
	2	(4)	$n = 2$	$k_1 = 70,2; k_2 = 0,735$	0,988
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 126; k_3 = 3,73; k_2 = 2,15$	1,000
D_{240} (горение)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 307; k_2 = 0,764$	1,000
	2	(4)	$n = 2$	$k_1 = 166; k_2 = 0,193$	0,993
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 307; k_3 = 0,000; k_2 = 0,764$	1,000
	4	(5)	$n = 2; m = 2$	$k_1 = 219; k_3 = 61,5; k_2 = 0,383$	1,000
	5	(5)	$n = m$	$k_1 = 248; k_3 = 0,000; k_2 = 0,513; n = m = 1,29$	1,000
D_{240} (пиролиз)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 177; k_2 = 1,08$	0,960
	2	(4)	$n = 2$	$k_1 = 128; k_2 = 0,466$	0,962
	3	(4)	–	$k_1 = 436; k_2 = 2,18; n = 0,544$	1,000
	4	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 178; k_3 = 16,4; k_2 = 2,15$	1,000
	5	(5)	$n = 2; m = 2$	$k_1 = 131; k_3 = 20,9; k_2 = 0,681$	1,000
	6	(5)	$n = m$	$k_1 = 436; k_3 = 0,000; k_2 = 2,18; n = m = 0,544$	1,000

математической модели оценивалась по критерию Фишера.

Во всех вариантах расчета получен высокий коэффициент корреляции (не менее 0,95); все полученные уравнения описывали изменение характеристик адекватно.

При использовании уравнения (5) получены значения коэффициента k_1 , близкие к нулю, т. е. величиной первого члена уравнения можно пренебречь.

Следовательно, для характеристики максимального дымообразования наиболее целесообразно применение уравнения (3). Наилучшая корреляция с экспериментальными данными получена при значении показателя степени m , близком к 0,5 для режима горения и 0,75 для режима пиролиза.

Для материала ВПС-41 изменение кинетических характеристик дымообразования D_{90} , D_{120} и D_{240} с увеличением толщины удовлетворительно описыва-

ется уравнением (4). В случае использования уравнения (5) величина рассчитанного коэффициента k_3 существенно меньше максимального значения данной характеристики при наихудшей толщине. Таким образом, вторым членом уравнения можно пренебречь. Полученные значения коэффициента корреляции не позволяют однозначно рекомендовать использование показателя степени n , отличного от 1,00. На рис. 5 приведены графики, описывающие изменение характеристик дымообразования с ростом толщины при испытании в режиме пиролиза. Коэффициенты уравнений для всех характеристик были рассчитаны по первым вариантам табл. 3.

Выводы

Исследовано и проанализировано влияние толщины образцов на характеристики дымообразования (дымообразование за 1,5; 2 и 4 мин и максимальное в режимах горения и пиролиза) монолитных композиционных материалов (стекло- и углепластики).

Установлено, что с ростом толщины образца существенно увеличивается время индукции до начала дымообразования.

Выявлен экстремальный (с максимумом) вид кривых кинетических характеристик дымообразования и установлены толщины образцов, определяющие максимальные (наихудшие) значения характеристик дымообразования D_{90} , D_{120} и D_{240} .

Предложены уравнения, описывающие изменение нормируемых характеристик дымообразования материалов авиационного назначения в зависимости от толщины испытываемого образца. Для стеклопластика ВПС-41 методом МНК рассчитаны коэффициенты уравнений, проверена и подтверждена адекватность использованных математических моделей экспериментальным данным, установлен высокий уровень корреляции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 14-29-10186 “код офу-м”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cambell S., Jensen M., Sattayatam P.* Flammability Standardization Task Group — Final Reports: Federal Aviation Administration Draft Policy Memo, AMN-115-09-XXX, August 20, 2009 // Report FAA DOT/FAA/TC-12/10. — 2012. — 881 p. URL : <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC-12-10> (дата обращения: 13.02.2015).
2. *Carlo Al.* Strategic approach to fire safety // The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. — 13 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/CarloStrategicApproach/CarloStrategicApproach-Pres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
3. *Moraine J., Yon J., Talbaut M., Coppalle A.* Properties of smokes emitted during smoke-chamber tests // The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. — 15 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Fire_Research_I/CoppalleSmokeEms/CoppalleSmokeEmsPres.pptx (дата обращения: 13.02.2015).
4. *Campbell S., Jensen M.* Flammability Standardization Task Group // The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. — 28 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_II/Campbell-Standardization/CampbellStandardizationPres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
5. *Hill R.* Development/Updating of Material Flammability Test Methods in Support of Proposed Part 25 Regulatory Change // The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. — 15 p. URL: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/HillSupportPart25/HillSupportParat25Pres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
6. *Le Neve S.* Fire behaviour of structural composite materials (progress of the work) // The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. — 39 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_I/LeNeveFireBehavior/LeneveFireBehaviorPres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
7. *Барботько С. Л., Вольный О. С., Кириенко О. А., Луценко А. Н., Шуркова Е. Н.* Сопоставление методов оценки пожарной опасности полимерных материалов в различных отраслях транспорта и промышленности // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2015. — № 1. — С. 2–9.
8. ASTM E662–09. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials.
9. ISO 5659–2. Plastics — Smoke Generation — Part 2: Determination of Optical Density by Single-Chamber Test.

10. ASTM E1995–08. Standard Test Method for Measurement of Smoke Obscuration Using a Conical Radiant Source in a Single Closed Chamber, With the Test Specimen Oriented Horizontally.
11. ASTM F814–84B. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials for Aerospace Applications.
12. ASTM D2843–10. Standard Test Method for Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics.
13. 2012 International Building Code / International Code Council Inc., USA, 2011. — 730 p.
14. 2012 International Fire Code / International Code Council Inc., USA, 2011. — 546 p.
15. ASTM E1537–07. Standard Test Method for Fire Testing of Upholstered Furniture.
16. ASTM E84–12. Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.
17. ASTM E906M–10. Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using a Thermopile Method.
18. ASTM E1354–11B. Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter.
19. ГОСТ 12.1.044–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91. — М. : Изд-во стандартов, 1989; ИПК “Изд-во стандартов”, 1996; 2001.
20. ГОСТ 24632–81. Материалы полимерные. Метод определения дымообразования. — Введ. 01.01.82. — М. : Изд-во стандартов, 1981.
21. ATS-1000.001. Airbus Industrie Technical Specification. Fire-Smoke-Toxicity (FST). Test Specification.
22. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР / Межведомственная комиссия по нормам летной годности гражданских самолетов и вертолетов СССР. — Изд. 3-е. — М. : ЦАГИ, 1984. — 464 с.
23. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности транспортных самолетов // Межгосударственный авиационный комитет. — Изд. 3-е с поправк. 1–6. — М. : ОАО Авиаиздат, 2009. — 274 с.
24. Federal Register. 14 CFR Part 25 — Airworthiness Standards. Transport Category Airplanes // Federal Aviation Administration. URL : http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations (дата обращения: 15.12.2014).
25. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25. Amendment 15. — European Aviation Safety Agency, 2014. — 921 p.
26. Барботько С. Л., Дементьева Л. А., Серезженков А. А. Горючесть стекло- и углепластиков на основе клеевых препрегов // Клеи. Герметики. Технологии. — 2008. — № 7. — С. 29–31.
27. Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Изотова Т. Ф., Барботько С. Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала за счет изменения его структуры // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 1. — С. 27–30.
28. Барботько С. Л., Швец Н. И., Застрогина О. Б., Изотова Т. Ф. Исследование влияния толщины стеклопластиков на характеристики тепловыделения при горении // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 30–36.
29. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ по реализации “Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года” // Авиационные материалы и технологии. — 2015. — № 1. — С. 3–33.
30. Каблов Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. — 2012. — Т. 82, № 6. — С. 520–530.
31. Каблов Е. Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2008. — № 3. — С. 2–14.
32. Давыдова И. Ф., Кавун Н. С. Стеклопластики — многофункциональные композиционные материалы // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 253–260.
33. Борщев А. В., Хрульков А. В., Халтурина Д. С. Изготовление низкопористого полимерного композиционного материала для применения в слабо- и средненагруженных конструкциях // Труды ВИАМ. — 2014. — № 7. — Ст. 03. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/682.pdf> (дата обращения: 03.02.2015).
34. Гуляев И. Н., Власенко Ф. С., Зеленина И. В., Раскутин А. Е. Направления развития термостойких углепластиков на основе полиимидных и гетероциклических полимеров // Труды ВИАМ. — 2014. — № 1. — Ст. 04. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/636.pdf> (дата обращения: 03.02.2015).

35. Кириллов В. Н., Ефимов В. А., Барботько С. Л., Николаев Е. В. Методические особенности проведения и обработки результатов климатических испытаний полимерных композиционных материалов // Пластические массы. — 2013. — № 1. — С. 37–41.
36. Ефимов В. А., Шведкова А. К., Коренькова Т. Г., Кириллов В. Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // Труды ВИАМ. — 2013. — № 1. — Ст. 05. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/5.pdf> (дата обращения: 06.02.2015).
37. Кириллов В. Н., Ванюров Ю. М., Дрозд Е. А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в условиях атмосферы теплого влажного и умеренно теплого климата // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 4. — С. 31–38.
38. Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Постнов В. И. Влияние длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 12–20.
39. Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Шведкова А. К. Исследование длительных совместных воздействий факторов температуры и влажности на пожаробезопасность стеклопластиков // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 16–25.

Материал поступил в редакцию 27 февраля 2015 г.

English

FEATURES THE TESTING OF AVIATION MATERIALS ON FIRE SAFETY. Part 3. Test on smoke density. Influence of sample thickness on registered characteristics

BARBOTKO S. L., Candidate of Technical Sciences, Chief of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: slbarbotko@yandex.ru)

VOLNYY O. S., Leading Engineer of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

KIRIENKO O. A., Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Associate of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

SHURKOVA E. N., Engineer of 2th category of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

ABSTRACT

According to requirements of aviation normative documents, materials of internal furnish of passenger cabins have to be checked on smoke-generating ability. State Standard 24632 is applied in Russia at smoke density qualification tests of aviation materials. Unlike the method described in item 4.18 of Interstate Standard 12.1.044, smoke density defined according at State Standard 24632 belongs to area of the material, instead of to its weight. Therefore, when using polymeric materials of aviation assignment of different thickness, there is need of carrying out tests of samples for each option of thickness. According to requirements of aviation norms on which the admissibility of application of materials in products is defined by the main characteristics of smoke density are kinetic indicators, that is the optical density for the given period of time (90, 120 or 240 sec).

In this work foreign experience is analyzed, researches are conducted and available data on influence of thickness for different types of monolithic composite materials on registered indicators of smoke density are generalized. A presence of extremum (maximum) on schedules of change of characteristics of smoke density from thickness of sample of material is shown. Depending on type

of material and the characteristic time of smoke density, thickness at which the maximum of smoke density is observed may change in the range from 1 to 3 mm.

The equations of kinetic characteristics of smoke density describing character depending on thickness of tested sample are offered. Calculations of factors of the equations are carried out for the material VPS-41, the regression analysis is made, adequacy of the used mathematical models to experimental data is checked and confirmed and high level of correlation is established.

Keywords: smoke density; thickness; polymeric composite material; fiberglass; carbon fiber-reinforced plastic; aviation norms.

REFERENCES

1. Cambell S., Jensen M., Sattayam P. Flammability Standardization Task Group — Final Reports: Federal Aviation Administration Draft Policy Memo, AMN-115-09-XXX, August 20, 2009. *Report FAA DOT/FAA/TC-12/10*, 2012. 881 p. Available at: <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC-12-10.pdf> (Accessed 13 February 2015).
2. Carlo Al. Strategic Approach to Fire Safety. *The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. 13 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/CarloStrategicApproach/CarloStrategicApproachPres.pdf (Accessed 13 February 2015).
3. Moraine J., Yon J., Talbaut M., Coppalle A. Properties of smokes emitted during smoke-chamber tests. *The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. 15 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Fire_Research_I/CoppalleSmokeEms/CoppalleSmokeEmsPres.pptx (Accessed 13 February 2015).
4. Campbell S., Jensen M. Flammability Standardization Task Group. *The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. 28 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_II/Campbell-Standardization/CampbellStandardizationPres.pdf (Accessed 13 February 2015).
5. Hill R. Development/Updating of Material Flammability Test Methods in Support of Proposed Part 25 Regulatory Change. *The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. 15 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/HillSupportPart25/HillSupportParat25Pres.pdf (Accessed 13 February 2015).
6. Le Neve S. Fire Behaviour of Structural Composite Materials (progress of the work). *The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. 39 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_I/LeNeveFireBehavior/LeneveFireBehaviorPres.pdf (Accessed 13 February 2015).
7. Barbotko S. L., Volnyy O. S., Kirienko O. A., Lutsenko A. N., Shurkova E. N. Sopostavleniye metodov otsenki pozharной opasnosti polimernykh materialov v razlichnykh otraslyakh transporta i promyshlennosti [The comparison of fire danger assessment methods for polymeric materials in the different branches of transport and industries]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik — All Materials. Encyclopedic handbook*, 2015, no. 1, pp. 2–9.
8. ASTM E662–09. *Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials*.
9. ISO 5659–2. *Plastics — Smoke Generation — Part 2: Determination of Optical Density by Single-Chamber Test*.
10. ASTM E1995–08. *Standard Test Method for Measurement of Smoke Obscuration Using a Conical Radiant Source in a Single Closed Chamber, with the Test Specimen Oriented Horizontally*.
11. ASTM F814–84B. *Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials for Aerospace Applications*.
12. ASTM D2843–10. *Standard Test Method for Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics*.
13. 2012 *International Building Code*. International Code Council Inc., USA, 2011. 730 p.
14. 2012 *International Fire Code*. International Code Council Inc., USA, 2011. 546 p.
15. ASTM E1537–07. *Standard Test Method for Fire Testing of Upholstered Furniture*.
16. ASTM E84–12. *Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*.
17. ASTM E906M–10. *Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using a Thermopile Method*.
18. ASTM E1354–11B. *Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*.

19. Interstate Standard 12.1.044–89*. *Occupational Safety Standards System. Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials. Nomenclature of Indices and Methods of Their Determination*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001 (in Russian).
20. State Standard 24632–81. *Materials Polymer. Method for Determination of Smoke Development*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1981 (in Russian).
21. ATS-1000.001. *Airbus Industrie Technical Specification. Fire-Smoke-Toxicity (FST). Test Specification*.
22. *Norms of the flight validity for civil aircrafts of the USSR*. Second edition. Moscow, TsAGI Publ., 1974. 344 p. (in Russian).
23. *Aviation rules. Chapter 25. Airworthiness norms for transport category airplanes*. Interstate Aviation Committee. Ed. 3 with amendments 1–6. Moscow, Aviaizdat, 2009. 274 p. (in Russian).
24. *Federal Register. 14 CFR Part 25 — Airworthiness standards. Transport category airplanes*. Federal Aviation Administration. Available at: http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations (Accessed 15 December 2014).
25. *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25. Amendment 15*. European Aviation Safety Agency, 2014. 921 p.
26. Barbotko S. L., Dementyeva L. A., Serezhnikov A. A. Goryuchest steklo- i ugleplastikov na osnove kleevykh prepregov [Combustibility of glass- and carbon- plastics based on the glue prepregs]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii — Glues. Sealing. Technologies*, 2008, no. 7, pp. 29–31.
27. Shurkova E. N., Volnyy O. S., Izotova T. F., Barbotko S. L. Issledovaniye vozmozhnosti snizheniya teplovydeleniya pri gorenii kompozitsionnogo materiala putem izmeneniya ego struktury [Research of an opportunity to reduction the heat release at burning for polymer composite material due to a changing of its structure]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 1, pp. 27–30.
28. Barbotko S. L., Shvets N. I., Zastrogina O. B., Izotova T. F. Issledovaniye vliyaniya tolshchiny stekloplastikov na kharakteristiki teplovydeleniya pri gorenii [The influence of fibreglasses thickness on heat release characteristics at burning]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 30–36.
29. Kablov E. N. Innovatsionnyye razrabotki FGUP “VIAM” GNTs RF po realizatsii “Strategicheskikh napravleniy razvitiya materialov i tekhnologiy ikh pererabotki na period do 2030 goda” [Innovative development of Federal State Unitary Enterprise “VIAM” the State Scientific Centre of Russian Federation on implementation “The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030”]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2015, no. 1, pp. 3–33.
30. Kablov E. N. Materialy i khimicheskiye tekhnologii dlya aviatsionnoy tekhniki [Materials and chemical technologies for aviation technics]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk — Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
31. Kablov E. N. Aviakosmicheskoye materialovedeniye [Aerospace materials science]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik — All Materials. Encyclopedic Handbook*, 2008, no. 3, pp. 2–14.
32. Davydova I. F., Kavun N. S. Stekloplastiki — mnogofunktsionalnyye kompozitsionnyye materialy [Fibreglasses — multifunction composite materials]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. S, pp. 253–260.
33. Borshchev A. V., Khrulkov A. V., Khalturina D. S. Izgotovleniye nizkoporistogo polimernogo kompozitsionnogo materiala dlya primeneniya v slabo- i srednenagruzhennykh konstruktivnykh [Manufacturing of low-porous polymeric composite material for application in weak and middle load designs]. *Trudy VIAM — Proc. VIAM*, 2014, no. 7, art. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/682.pdf> (Accessed 3 February 2015).
34. Gulyaev I. N., Vlasenko F. S., Zelenina I. V., Raskutin A. E. Napravleniya razvitiya termostoykikh ugleplastikov na osnove poliimidnykh i geterotsiklicheskiykh polimerov [The directions of development heat-resistant carbonplastics on the basis of polyimide and heterocyclic polymers]. *Trudy VIAM — Proc. VIAM*, 2014, no. 1, art. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/636.pdf> (Accessed 3 February 2015).
35. Kirillov V. N., Efimov V. A., Barbotko S. L., Nikolaev E. V. Metodicheskiye osobennosti provedeniya i obrabotki rezultatov klimaticheskikh ispytaniy polimernykh kompozitsionnykh materialov [Methodical features of carrying out and processing of results of climatic tests for polymeric composite materials]. *Plasticheskiye massy — Plastics*, 2013, no. 1, pp. 37–41.

36. Efimov V. A., Shvedkova F. K., Korenkova T. G., Kirillov V. N. Issledovaniye polimernykh konstruktsionnykh materialov pri vozdeystvii klimaticheskikh faktorov i nagruzok v laboratornykh i naturnykh usloviyakh [Research of polymeric constructional materials at influence of climatic factors and loadings in laboratory and natural conditions]. *Trudy VIAM — Proc. VIAM*, 2013, no. 1, art. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/5.pdf> (Accessed 6 February 2015).
37. Kirillov V. N., Vapirov Yu. M., Drozd E. A. Issledovaniye atmosfernoй stoykosti polimernykh kompozitsionnykh materialov v usloviyakh atmosfery teplogo vlazhnogo i umerenno teplogo klimata [Research of atmospheric firmness of polymeric composite materials in the conditions of the atmosphere of warm wet and moderately warm climate]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 4, pp. 31–38.
38. Barbotko S. L., Barbotko M. S., Volnyy O. S., Postnov V. I. Vliyaniye dlitel'nogo teplovogo vozdeystviya na pozharobezопасnost polimernykh materialov [Influence of long thermal exposure on fire safety of polymeric materials]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 12–20.
39. Barbotko S. L., Barbotko M. S., Volnyy O. S., Shvedkova A. K. Issledovaniye dlitelnykh sovместnykh vozdeystviy temperatury i vlazhnosti na pozharobezопасnost stekloplastikov [Research of joint long-time impacts of temperature and humidity on fire safety of glass reinforced polymers]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 16–25.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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

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

А. А. ГАЛЛЯМОВ, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37; e-mail: artem.gallyamov.85@mail.ru)

М. И. СМОЛЬНИКОВ, аспирант Уральского государственного лесотехнического университета (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37)

С. В. ПОСТНИКОВ, студент Уральского государственного лесотехнического университета (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37)

УДК 66.022.387:661.174

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИУРЕТАНОВ ДИЭТИЛЕНТРИАМИНОМ

Рассмотрены полученные на основе продуктов деструкции полиуретанов диэтилентриамином высокоэффективные огнезащитные составы для древесины, содержащие аммонийные соли α -аминометилфосфоновых кислот. Методами ИК-спектроскопии и газожидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией, изучены продукты деструкции полиуретана диэтилентриамином. Первичная оценка эффективности азотфосфорсодержащих огнезащитных составов на основе продуктов деструкции полиуретанов диэтилентриамином показала, что при расходе более 140 г/м² все огнезащитные составы обеспечивают потерю массы образцов древесины менее 9 %.

Ключевые слова: полиуретан; диэтилентриамин; аммонийные соли α -аминометилфосфоновых кислот; огнезащитная эффективность; деструкция.

На основе многовекового опыта у человечества сложилось достаточно обоснованное представление о высокой пожарной опасности древесины, которое лишнее раз подтверждается современной статистикой пожаров. Тем не менее древесина до сих пор является одним из самых популярных строительных материалов, и неслучайно проблеме снижения ее пожарной опасности уделяется большое внимание [1, 2].

Ранее на кафедре технологии переработки пластических масс, а сейчас на кафедре целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета проводились и проводятся работы по утилизации гетероцепных полимеров с получением на основе продуктов деструкции огнезащитных составов для древесины [3–5].

Целью данной работы является получение азотфосфорсодержащих огнезащитных составов для древесины на основе продуктов деструкции полиуретанов (ПУ) и изучение их свойств.

В работе использовались отходы полиуретанов производства НПО “Уником-Сервис” (г. Первоуральск, Свердловская обл.) на основе сложных полиэфиров (I–III) (рис. 1):

- полиуретан марки Vibrathane 8000 на основе 4,4'-дифенилметандиизоцианата — сложного полиэфира на основе адипиновой кислоты и гликоля, отвердитель — 1,4-бутандиол (I);
- полиуретан марки NDI 3937 на основе 1,5-нафтилендиизоцианата — сложного полиэфира на основе адипиновой кислоты и гликоля, отвердитель — 1,4-бутандиол (II);
- полиуретан марки TDL 630 на основе 2,4-толуилендиизоцианата — сложного полиэфира на основе адипиновой кислоты и гликоля, отвердитель — диамет X (III).

Деструкцию проводили в трехгорловой колбе, снабженной перемешивающим устройством и обратным холодильником, при температуре 140–180 °С. Массовое соотношение ПУ и диэтилентриамин (ДЭТА) изменялось в экспериментах от 1:1 до 1:2. Время реакции составляло 3–5 ч. После охлаждения продукты аминолитизации представляли собой пастообразные вещества темно-красного цвета.

Продукты деструкции ПУ (I) диэтилентриамином были проанализированы методом газожидкостной хроматографии на приборе “GC 2010” фирмы “Shimadzu” (Япония) с пламенно-ионизационным детектором (ГХ-ПИД), кварцевой капиллярной колонкой ZB-5 длиной 30 м, диаметром 0,25 мм, с толщиной

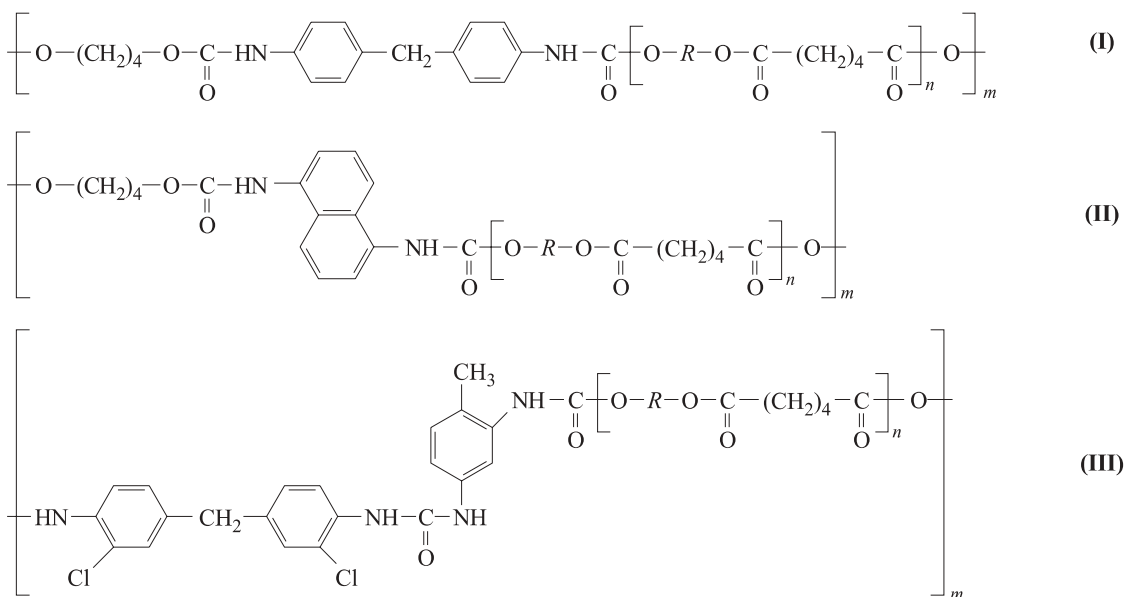


Рис. 1. Полиуретаны производства НПО “Уником-Сервис” на основе сложных полиэфиров марки: (I) — Vibrathane 8000; (II) — NDI 3937; (III) — TDL 630

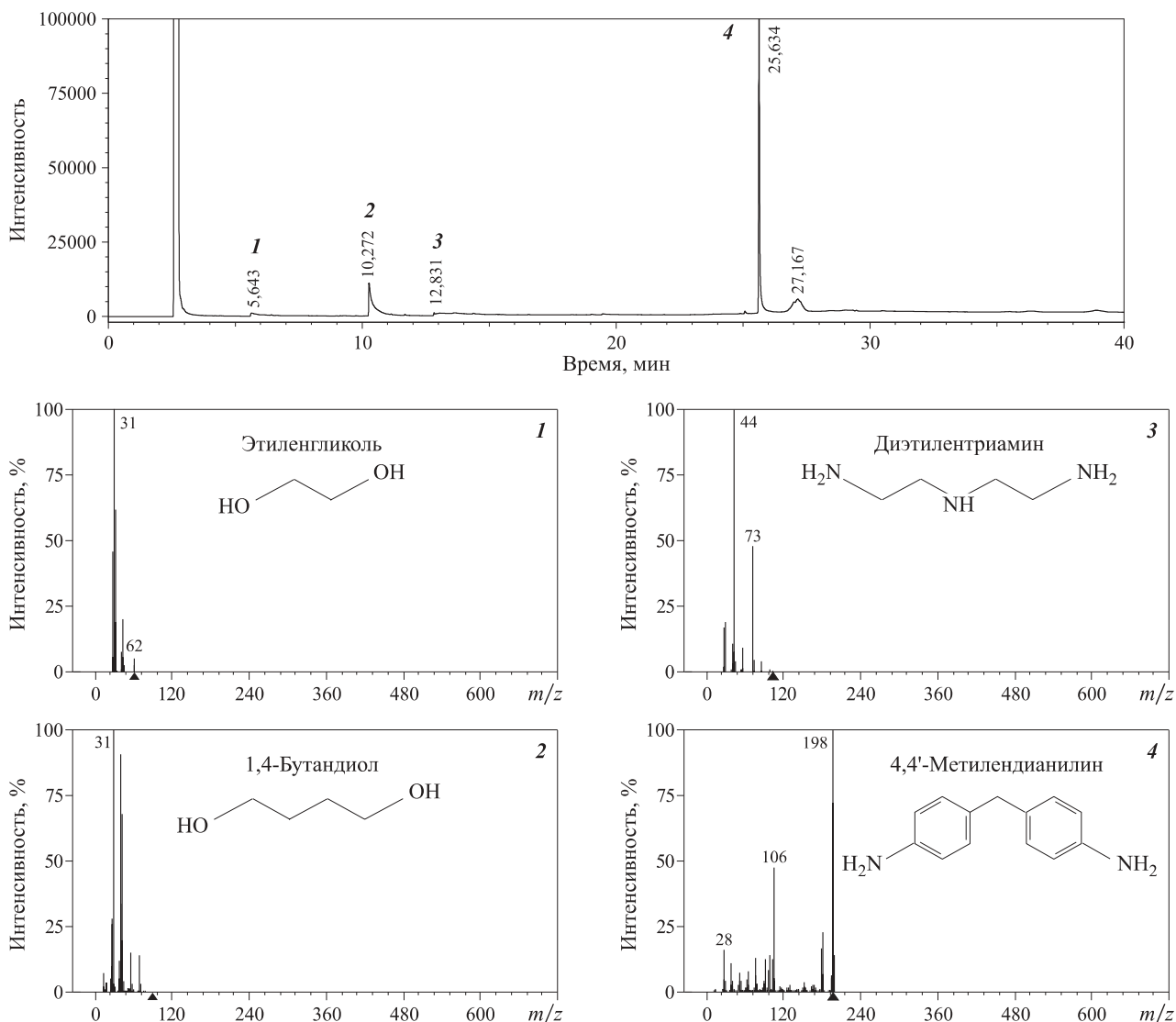


Рис. 2. Данные газожидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией, продукта деструкции ПУ (I) ДЭТА

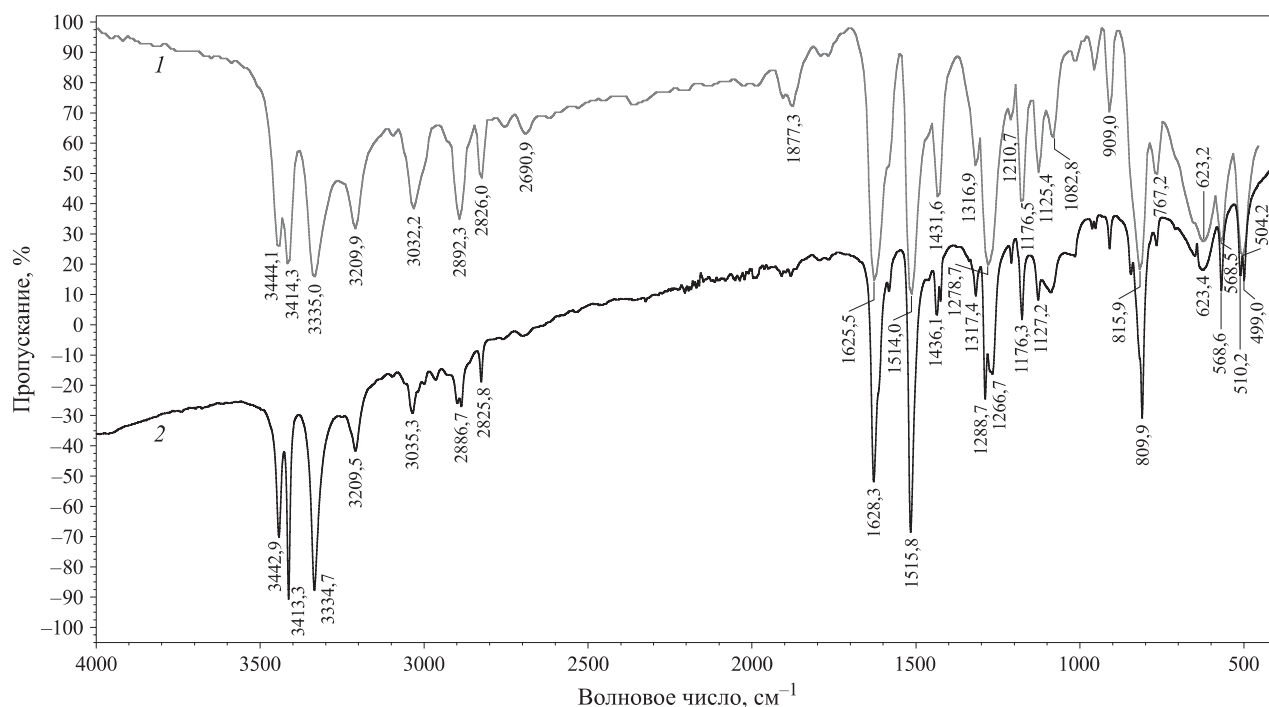


Рис. 3. ИК-спектры 4,4'-метилendiанилина (1) и осадка, выделенного из продукта деструкции (2)

пленки 0,25 мкм (полиметилсилоксан с 5 % фенильных групп). Начальная температура колонки составляла 40 °С (выдержка 3 мин), далее ее нагревали со скоростью 10 с/мин до 280 °С (выдержка 2 мин). Температура испарителя — 250 °С, детектора — 300 °С. Газ-носитель — азот, коэффициент деления потока 1:30, расход через колонку азота 1,0 мл/мин, объем пробы 0,001 мл.

Анализы были проведены в Институте органического синтеза им. И. Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук. Для анализа готовили растворы образцов в метаноле с концентрацией 10–15 мг/мл. Идентификацию проводили с использованием базы масс-спектров NIST05, Wiley (рис. 2).

Из данных газожидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (ГЖХ–МС), следует, что происходит полная деструкция ПУ (I). В реакционной массе после деструкции ПУ (I) обнаружены: этиленгликоль, 1,4-бутандиол, 4,4'-метилendiанилин и диэтилентриамин.

Осаждением водой из реакционной массы ПУ (I) был выделен хлопьевидный осадок. После промывки дистиллированной водой осадок был проанализирован методом ИК-спектроскопии (рис. 3).

Как видно из рис. 3, в ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения в области 3440–3300 и 3300–3250 см^{-1} , которые соответствуют валентным колебаниям –NH-группы в первичных аминах. Кроме того, в спектрах вещества присутствуют полосы поглощения в области 2950–2850 см^{-1} , которые соответствуют валентным колебаниям C–H-связи аро-

матического кольца. В спектрах наблюдаются полосы поглощения в области 1650–1580 и 1430 см^{-1} , которые характерны соответственно для деформационных колебаний N–H-связи в первичных аминах и

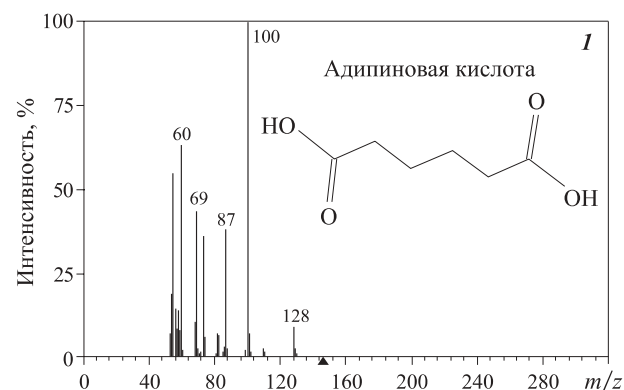
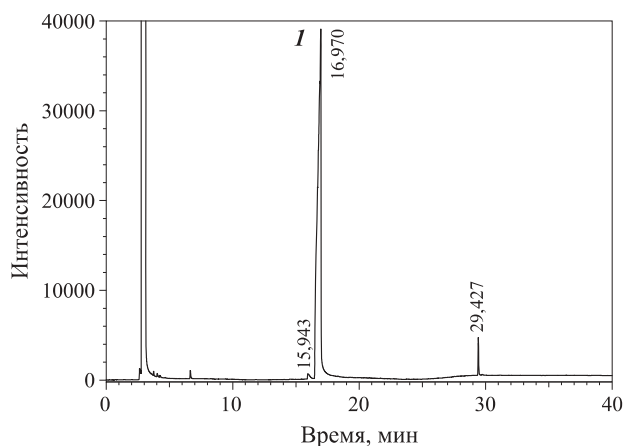


Рис. 4. Данные ГЖХ–МС кристаллического осадка

Краткая характеристика физико-химических свойств огнезащитных составов на основе продуктов деструкции ПУ (I–III)

Исходный полиуретан	Плотность, г/см ³	Массовая доля сухого остатка, %	Условная вязкость, с	pH
ПУ (I)	1,14	54,4	11,4	7
ПУ (II)	1,16	57,3	11,0	7
ПУ (III)	1,21	59,6	13,2	7

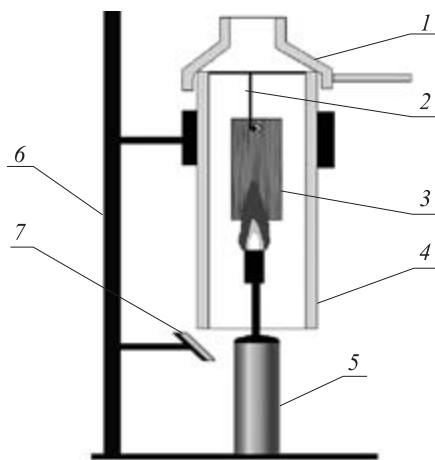


Рис. 7. Схема установки для огневых испытаний типа ОТМ: 1 — зонтик; 2 — металлический крючок для крепления образца; 3 — образец; 4 — керамический короб; 5 — газовая горелка; 6 — штатив; 7 — зеркало

Краткие физико-химические свойства полученных огнезащитных составов на основе продуктов деструкции ПУ (I–III) приведены в таблице.

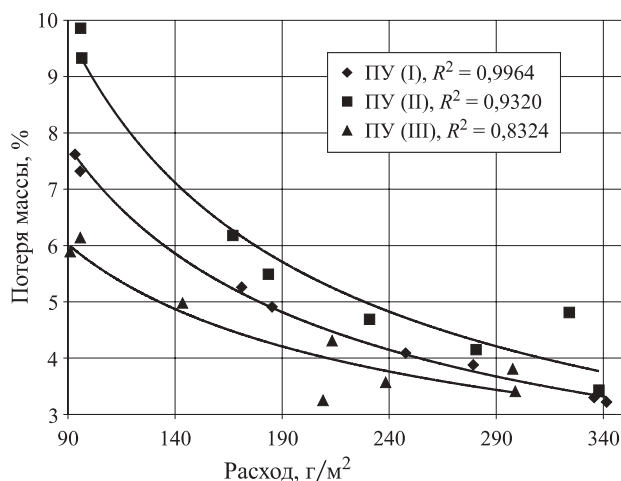


Рис. 8. Зависимость потери массы древесины от расхода ОЗС ПУ (I–III) ДЭТА

Первичная оценка огнезащитных свойств составов была определена на образцах сосны размером 150×60×30 мм. Схема установки для огневых испытаний типа ОТМ представлена на рис. 7.

На основе данных были получены зависимости потери массы образцов древесины от расхода ОЗС (рис. 8).

Таким образом, на основе продуктов деструкции ПУ (I–III) ДЭТА получены высокоэффективные азотфосфорсодержащие огнезащитные составы для древесины. При расходе от 140 г/м² потеря массы древесины составляла менее 9 %. В дальнейшем планируется проведение испытаний полученных огнезащитных составов согласно СП 2.13130.2012 [18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 216 с.
2. Афанасьев С. В., Балакин В. М. Теория и практика огнезащиты древесины и древесных изделий : монография. — Самара : СНЦ РАН, 2012. — 138 с.
3. Балакин В. М., Гарифуллин Д. Ш., Ислентьев С. В. Азотфосфорсодержащие огнезащитные составы на основе продуктов аминолита полиуретанов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 8. — С. 13–15.
4. Балакин В. М., Гарифуллин Д. Ш. Химические методы утилизации полиуретанов (обзор) // Пластические массы. — 2011. — № 10. — С. 50–56.
5. Балакин В. М., Гарифуллин Д. Ш., Галлямов А. А., Ганебных И. Н. Структура и свойства продуктов аминолита полиуретана СКУ-ПФЛ-100 моноэтаноломином // Пластические массы. — 2011. — № 9. — С. 52–56.
6. Куццов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-К, ИК-спектры полимеров. — М. : Физматлит, 2001. — 581 с.
7. Тарасевич Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. — М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. — 54 с.
8. Сильверстейн Р., Вебстерн Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений. — М. : Бинум, 2012. — 558 с.
9. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. — М. : Изд-во иностранной литературы, 1963. — 591 с.
10. Kanaya K., Takahashi S. Decomposition of polyurethane foams by alkanolamines // Journal of Polymer Science. — 1994. — Vol. 51, No. 4. — P. 675–682. doi: 10.1002/app.1994.070510412.

11. Xue S., Omoto M., Hidai T., Imai Y. Preparation of epoxy hardeners from waste rigid polyurethane foam and their application // Journal of Polymer Science. — 1995. — Vol. 56, No. 2. — P. 127–134. doi: 10.1002/app.1995.070560202.
12. Mukaiyama T., Iwanami M. On the thermal dissociation of organic compounds. XI. The effects of the substituents on the thermal dissociation of urethanes in amine solvent // JAOCS. — Vol. 79, No. 1. — P. 73–76. doi: 10.1021/ja01558a019.
13. Bistline R. G., Hampson J. W., Linfield W. M. Synthesis and properties of fatty imidazolines and their N-(2-aminoethyl) derivatives // JAOCS. — 1983. — Vol. 60, No. 4. — P. 823–828. doi: 10.1007/BF02787436.
14. Zia K. M., Bhatti H. N., Bhatti I. A. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review // Reactive & Functional Polymers. — 2007. — Vol. 67, No. 8. — P. 675–692. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.004.
15. Вторичная переработка пластмасс / Пер. с англ.; под ред. Г. Е. Заикова. — СПб. : Профессия, 2006. — 400 с.
16. Садыкова Л. Ш. Продукты амидолиза полиуретанов, деструктурированные ϵ -капролактаном, и их применение : дис. ... канд. хим. наук. — Казань, 2011. — 127 с.
17. Черкасов Р. А., Галкин В. И. Реакция Кабачника – Филдса: синтетический потенциал и проблема механизма // Успехи химии. — 1998. — Т. 67, № 10. — С. 940–968.
18. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : приказ МЧС России от 21.11.2012 № 693; введ. 27.11.2012. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2012.

Материал поступил в редакцию 25 декабря 2014 г.

English

FIREPROOF STRUCTURES FOR WOOD ON THE BASIS OF PRODUCTS OF DESTRUCTION OF POLYURETHANES BY DIETHYLENTRIAMINE

BALAKIN V. M., Candidate of Chemistry Sciences, Professor of Pulp and Paper Production and Processing of Polymers Department, Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: balakin_v.m@mail.ru)

GALLYAMOV A. A., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: artem.gallyamov.85@mail.ru)

SMOLNIKOV M. I., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation)

POSTNIKOV S. V., Student of Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to obtain nitrogen phosphorus flame retardants for wood-based products of destruction of polyurethanes by diethylenetriamine and study their properties. Destruction products are a mixture consisting of diamines, glycols, and also, the diamide of adipic acid and an excess of diethylenetriamine. Destruction products used in the reaction Kabachnik – Fields as amine component to synthesize α -aminomethylenephosphonic acids, and aliphatic aromatic. The reaction mass after phosphorylation containing mixture α -aminomethylenephosphonic acids neutralized with aqueous ammonia solution to pH = 7 to give a mixture of ammonium salts of α -aminomethylenephosphonic acids. The resulting solution of ammonium salts of α -aminomethylenephosphonic acid was tested as a flame retardant for wood.

Initial evaluation of the efficiency of nitrogen phosphorus flame retardants based on destruction products of polyurethanes by diethylenetriamine showed that at a rate of more than 140 g/m² all flame retardants provide weight loss samples revesiny less than 9 %.

Keywords: polyurethane; diethylenetriamine; ammonium salts of α -aminomethylenephosphonic acids; fire-retardant efficiency; destruction.

REFERENCES

1. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Wood combustion and its fire-dangerous properties]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 216 p.
2. Afanasyev S. V., Balakin V. M. *Teoriya i praktika ognezashchity drevesiny i drevesnykh izdeliy. Monografiya* [Theory and practice of fire protection of wood and wood products. Monograph]. Samara, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2012. 138 p.
3. Balakin V. M., Garifullin D. Sh., Islentyev S. V. Azotfosforsoderzhashchiye ognezashchitnyye sostavy na osnove produktov aminoliza poliuretanov [Azote-phosphorus-containing fireproof compositions on the basis products of aminolysis of polyurethanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 8, pp. 13–15.
4. Balakin V. M., Garifullin D. Sh. Khimicheskiye metody utilizatsii poliuretanov (obzor) [Chemical methods of disposal of polyurethanes (review)]. *Plasticheskiye massy — Plastic Masses*, 2011, no. 10, pp. 50–56.
5. Balakin V. M., Garifullin D. Sh., Gallyamov A. A., Ganebnykh I. N. Struktura i svoystva produktov aminoliza poliuretana SKU-PFL-100 monoetanolinom [Structure and properties of polyurethane products aminolysis SKU-PFL-100 monoethanolamine]. *Plasticheskiye massy — Plastic Masses*, 2011, no. 9, pp. 52–56.
6. Kuptsov A. Kh., Zhizhin G. N. *Furye-K, IK-spektry polimerov* [Fourier-K, the IR spectra of polymers]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 581 p.
7. Tarasevich B. N. *IK-spektry osnovnykh klassov organicheskikh soyedineniy. Spravochnyye materialy* [IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2001. 54 p.
8. Silversteyn R., Vebstern F., Kiml D. *Spektrometricheskaya identifikatsiya organicheskikh soyedineniy* [Spectrometric identification of organic compounds]. Moscow, Binom Publ., 2012. 558 p.
9. Bellamy L. *Infrakrasnyye spektry slozhnykh molekul* [Infrared spectra of complex molecules]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1963. 591 p.
10. Kanaya K., Takahashi S. Decomposition of polyurethane foams by alkanolamines. *Journal of Polymer Science*, 1994, vol. 51, no. 4, pp. 675–682. doi: 10.1002/app.1994.070510412.
11. Xue S., Omoto M., Hidai T., Imai Y. Preparation of epoxy hardeners from waste rigid polyurethane foam and their application. *Journal of Polymer Science*, 1995, vol. 56, no. 2, pp. 127–134. doi: 10.1002/app.1995.070560202.
12. Mukaiyama T., Iwanami M. On the thermal dissociation of organic compounds. XI. The effects of the substituents on the thermal dissociation of urethanes in amine solvent. *JAOCS*, 1957, vol. 79, no. 1, pp. 73–76. doi: 10.1021/ja01558a019.
13. Bistline R. G., Hampson J. W., Linfield W. M. Synthesis and properties of fatty imidazolines and their N-(2-aminoethyl) derivatives. *JAOCS*, 1983, vol. 60, no. 4, pp. 823–828. doi: 10.1007/BF02787436.
14. Zia K. M., Bhatti H. N., Bhatti I. A. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive & Functional Polymers*, 2007, vol. 67, no. 8, pp. 675–692. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.004.
15. La Mantia F. *Handbook of Plastics Recycling*. Rapra Technology Limited, 2002. 442 p. (Russ. ed.: Zaykova G. E. (ed.). *Vtorichnaya pererabotka plastmass*. Saint Petersburg, Professiya Publ., 2012. 400 p.).
16. Sadykova L. Sh. *Produkty amidoliza poliuretanov, destruktirovannyye ϵ -kaprolaktanom, i ikh primeneniye. Dis. ... kand. khim. nauk* [Products amidoliza polyurethanes, ϵ -caprolactone degraded and their application. Cand. chem. sci. diss.]. Kazan, 2011. 127 p.
17. Cherkasov R. A., Galkin V. I. Reaktsiya Kabachnika – Fildsa: sinteticheskiy potentsial i problema mekhanizma [Reactions of Kabachnik – Fields: synthetic potential and problem of mechanism]. *Uspekhi khimii — Russian Chemical Reviews*, 1998, vol. 10, no. 67, pp. 940–968.
18. *Set of rules 2.13130.2012. Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012. 21 p. (in Russian).

А. А. КОМАРОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры гидравлики Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: bzbb@mail.ru)

Г. В. ВАСЮКОВ, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры экологической безопасности Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: gl-v@yandex.ru)

Р. А. ЗАГУМЕННИКОВ, адъюнкт Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: r-unk@yandex.ru)

Е. В. БУЗАЕВ, аспирант Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: buzaevgen@mail.ru)

УДК:614.835.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ПОМЕЩЕНИЯХ

В настоящее время достаточно подробно изучено сгорание заранее перемешанных метановоздушных смесей, которые в реальных авариях, как правило, не образуются. Рассмотрен вопрос формирования газозвушной смеси в помещении. С помощью экспериментальных исследований и математического моделирования процесса турбулентной диффузии установлены закономерности формирования метановоздушной смеси внутри помещений. Определен минимальный коэффициент турбулентной диффузии при отсутствии подвижности воздуха и температуре 25 °С в помещении. Показано, что используемая численная модель позволяет вычислить объем газа во взрывоопасном состоянии.

Ключевые слова: утечка газа; взрывоопасное облако; турбулентная диффузия; метановоздушная смесь; избыточное давление.

При проектировании промышленных объектов нефтегазовой отрасли возникает проблема обеспечения их взрывоустойчивости [1–4]. Основным фактором, который способствует разрушению здания при взрыве, является избыточное давление. Оно возникает вследствие быстрого и значительного (в 7–8 раз) расширения продуктов сгорания относительно исходной смеси [5]. Для оценки избыточного давления взрыва существует много различных подходов. В большинстве из них закладывается наиболее опасный сценарий, когда весь объем помещения заполнен газозвушной смесью стехиометрической концентрации. Анализ пожаровзрывоопасности метана представлен в работе [6]. При реальных аварийных утечках в помещениях в большинстве случаев такая смесь не образуется, а если и образуется, то не является стехиометрической. Работа выполнена в продолжение исследований [7, 8]. Задачей настоящей работы являлось определение закономерностей распространения в помещении метана как наиболее распространенного горючего газа.

Экспериментальные исследования

Авторами статьи были проведены экспериментальные исследования, направленные на выявление

закономерностей формирования взрывоопасных зон в помещениях, в 2013 г. (эксперимент № 1) и 2014 г. (эксперимент № 2). Это важно для оценки пожарной опасности помещений, где используются горючие газы [9], принятия управленческих решений при ликвидации последствий взрывов газа, а также при расследовании таких аварий [10–12].

Экспериментальная модель представляла собой установленную вертикально полиэтиленовую трубу с внутренним диаметром 105 мм, высотой 4500 мм и объемом 39 л. Метан подавался в нижний торец (заглушку), выполненный из фанеры толщиной 20 мм с уплотнением в месте вставки в трубу. Патрубок представлял собой полиэтиленовую трубку с внутренним диаметром 10 мм, заполненную на 10 мм пористым материалом для исключения формирования струи на срезе. Данная модель установки рассматривалась как часть помещения, ограниченная стенками трубы, на которых выполнялось условие непротекания жидкости. Схема модели установки представлена на рис. 1.

Внутри модели вдоль центральной оси были установлены оптические датчики концентрации углеводородов с порогом измерения до 100 % (об.) метана. Сбор данных производился через аналого-цифровой

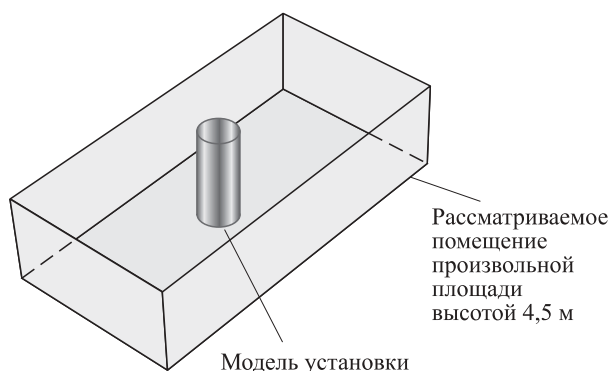


Рис. 1. Схема экспериментальной модели

Таблица 1. Размещение датчиков на высоте от нижнего торца

Датчик	Высота, мм	
	Эксперимент № 1	Эксперимент № 2
Нижний № 1	3300	1500
Средний № 2	3700	3000
Верхний № 3	4100	4500

преобразователь (АЦП) с выводом их на компьютер для регистрации и последующей обработки. Все оборудование было откалибровано по метану, выходное напряжение имело линейную характеристику, что гарантировало достоверность измерений. Датчики располагали следующим образом (см. табл. 1).

Заполнение модели метаном осуществляли с помощью ручного поршневого насоса известного объема, что обеспечивало подачу фиксированного объема газа. В эксперименте № 1 объем метана составлял 4,5 л, или 11,5 % от общего объема трубы (39 л). Время регистрации данных 3600 с. Данные, полученные с датчиков концентрации, представлены на рис. 2.

Из полученных графиков видно, что до 500-й секунды концентрация на заданных высотах растет со скоростью: датчик № 3 — 0,71 % (об.)/мин, № 2 — 0,83 % (об.)/мин, № 1 — 0,95 % (об.)/мин. Затем, достигнув своих максимумов: датчик № 3 — 6,5 % (об.), № 2 — 6,4 % (об.), № 1 — 6,6 % (об.), она начинает снижаться и через 1100 с пересекается в точке с концентрацией 6,4 % (об.), после чего равномерно падает со скоростью 0,026 % (об.)/мин. Предположительно, в установке в месте вставки нижней заглушки в торец модели при вводе кабелей к датчикам осталось небольшое отверстие, через которое происходила утечка метана из внутреннего объема модели. Из-за этого не происходило выравнивания до среднеобъемной концентрации 11,5 %.

В эксперименте № 2 объем метана составлял 3,6 л, или 9,2 % от общего объема трубы. Данные, полученные с датчиков концентрации, представлены на рис. 3.

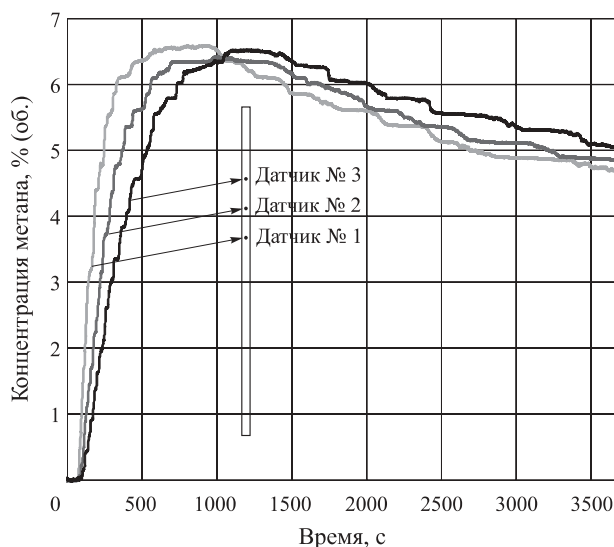


Рис. 2. Экспериментальные данные с датчиков концентрации (эксперимент № 1)

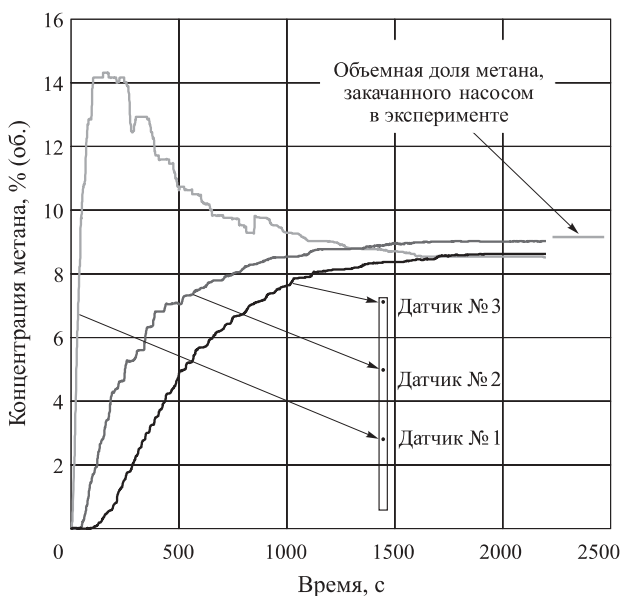


Рис. 3. Экспериментальные данные с датчиков концентрации (эксперимент № 2)

В данном опыте наблюдается несколько другая картина, чем в эксперименте № 1. На нижнем датчике концентрация метана возрастает до 14,2 % (об.), что выше среднеобъемной концентрации (9,2 % (об.)). Согласно показаниям среднего (№ 2) и верхнего (№ 3) датчиков концентрация растет более плавно. Примерно на 2000-й секунде показания со всех датчиков выравниваются до среднеобъемного значения 9,2 % (об.) для равномерно перемешанной смеси. Дальнейшего изменения показаний с датчиков не наблюдается. На основе опыта подобных исследований [13, 14] был сделан вывод о герметичности модели. Стоит особо отметить превышение показаний среднеобъемной концентрации для нижнего (№ 1) датчика, начиная с 45-й секунды.

Математическое моделирование экспериментов

Было проведено математическое моделирование экспериментов с целью описания наблюдаемых в них процессов. Моделирование выполнялось методом численного интегрирования уравнения диффузии (второй закон Фика) в двухмерной постановке [15, 16]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial Q}{\partial V},$$

где $C(x, z, t)$ — объемная концентрация вещества в смеси, % (об.);

D_x, D_z — коэффициенты турбулентной диффузии для различных направлений, m^2/c ;

Q — объемный расход вещества, m^3/c ;

x, z — координаты, м;

t — время, с;

V — объем, m^3 .

Для расчета использовалась двумерная расчетная область, представляющая собой сечение внутренней области трубы вдоль центральной оси по ее

диаметру шириной 105 мм и высотой 4500 мм. Рассматриваемое сечение разделялось на 2100 квадратных ячеек с ребром 15 мм: 7 — по горизонтали и 300 — по вертикали. Источник метана задавался числовым значением 100 в ячейках, соответствующих первоначальному месту нахождения метана, свободные ячейки, занятые воздухом, — числовым значением 0. Количество заполненных метаном ячеек определялось исходя из доли газа, подаваемого в эксперименте, от общего объема трубы. Для эксперимента № 1 она составляла 11,5 %, т. е. 240 ячеек, для эксперимента № 2 — 9,2 %, т. е. 190 ячеек. Источник газа в эксперименте № 1 располагался в ячейках (2–6; 1–48), эксперименте № 2 — (2–6; 1–38) (рис. 4).

На границах расчетной области принималось условие непротекания жидкости: $\partial C / \partial n = 0$ (где n — нормаль к границе). В эксперименте № 1 в ячейках (1; 1) и (1; 7) задавался расход утечки, пропорциональный суммарному потоку в эти ячейки, уменьшенному в 500 раз. Предполагалось, что газодинамические потоки, связанные с процессом заполнения модельной установки метаном с помощью ручного

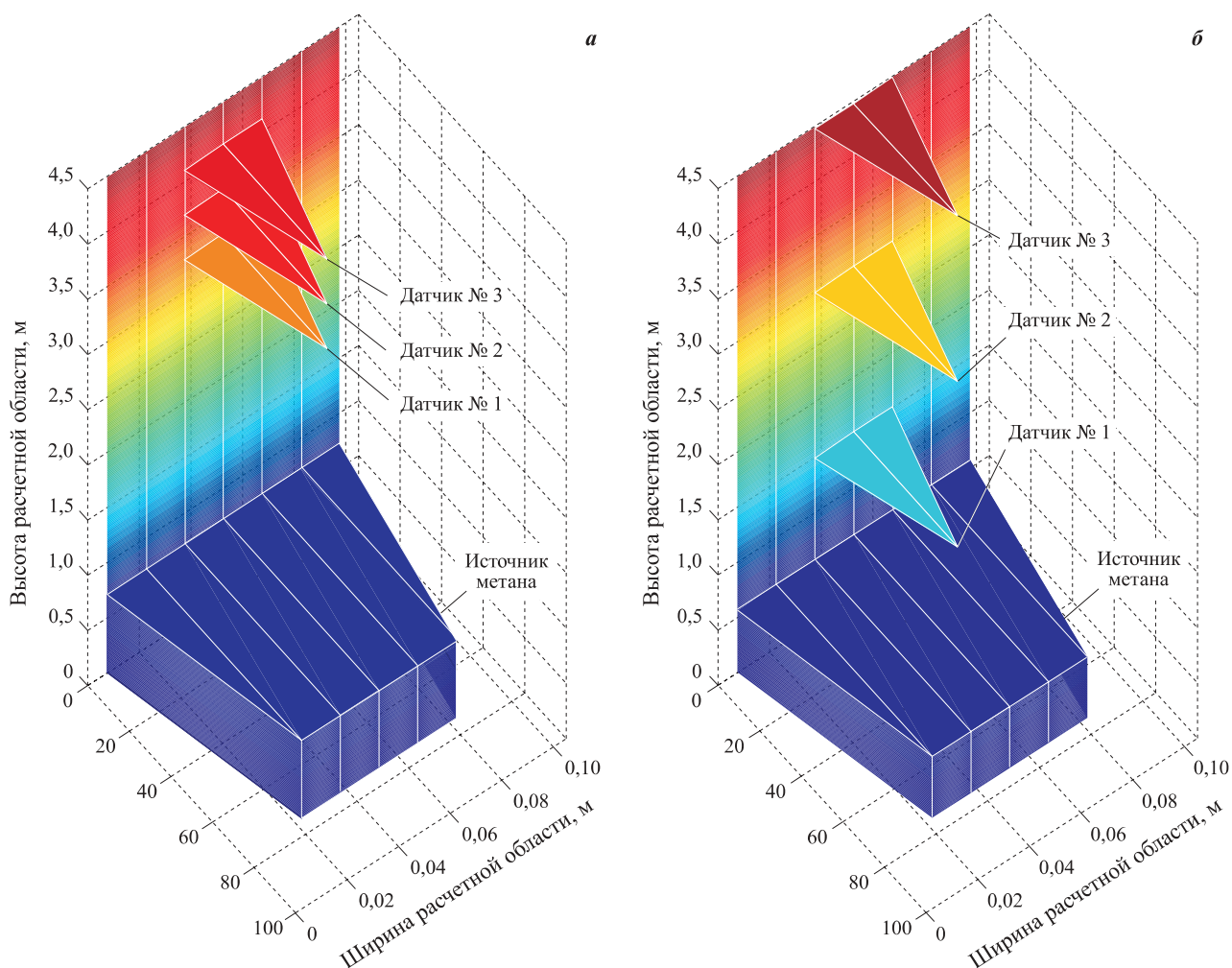


Рис. 4. Расчетные области для моделирования диффузии метана в экспериментах № 1 (а) и № 2 (б)

Таблица 2. Координаты датчиков концентрации в расчетах

Датчик	Координаты датчиков	
	Эксперимент № 1	Эксперимент № 2
Нижний № 1	4; 220	4; 100
Средний № 2	4; 247	4; 200
Верхний № 3	4; 274	4; 300

насоса, отсутствуют, и струйными течениями мы пренебрегали. Для возможности сопоставления экспериментальных и расчетных данных был реализован вывод зависимости концентрации от времени в ячейках, соответствующих фактическому расположению датчиков в трубе (табл. 2).

Коэффициент турбулентной диффузии подбирался так, чтобы показания датчиков в экспериментах совпадали с расчетными зависимостями в ячейках вывода концентраций из расчетной области. Так как калибр трубы был намного меньше, чем ее линейный размер ($4500:105 = 42,9$), этот коэффициент

в горизонтальном направлении оказывал малое влияние на процесс рассеивания метана, поэтому значения коэффициента по вертикали и по горизонтали были приняты равными. Он подбирался таким образом, чтобы выравнивание концентрации на всех датчиках в эксперименте № 1 происходило через 1100 с, в эксперименте № 2 — через 2000 с. Значение, обеспечивающее наилучшую сходимость экспериментальных и расчетных данных, для обоих случаев составило $D_x = D_z = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$. Оно и было принято для расчета.

Полученные расчетные зависимости объемных концентраций от времени в ячейках вывода в экспериментах № 1 и 2 представлены на рис. 5.

Для оценки последствий взрыва важным параметром является количество газа, находящегося во взрывоопасном состоянии. Так, возможно образование локальной взрывоопасной области, однако благодаря рассеиванию газа с течением времени его концентрация будет снижаться до взрывобезопасной, и тогда взрывные нагрузки будут зависеть от времени воспламенения [17–19]. Измерить количество газа внутри области воспламенения достаточно сложно, а зачастую просто невозможно, поэтому с помощью численного метода был найден общий объем газа внутри расчетной области и его количество во взрывоопасном состоянии. Расчет производился суммированием объемов газа в ячейках при условии нахождения их концентраций между нижним и верхним пределами воспламенения (рис. 6).

В принятой в настоящее время методике категорирования помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в [20, 21] приведено выражение для определения избыточного давления:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\text{г.п}}} \frac{100}{C_{\text{ст}}} \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где P_{\max} — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозвушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, кПа;
 P_0 — начальное давление, кПа;
 m — масса горячего газа, вышедшего в результате расчетной аварии в помещение, кг;
 $V_{\text{св}}$ — свободный объем помещения, м^3 ;
 Z — коэффициент участия горячего во взрыве, характеризующий отношение объема газа во взрывоопасном состоянии ко всему объему газа, поступившего в помещение;
 $\rho_{\text{г.п}}$ — плотность газа или пара, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $C_{\text{ст}}$ — стехиометрическая концентрация горячего газа, % (об.);
 $K_{\text{н}}$ — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

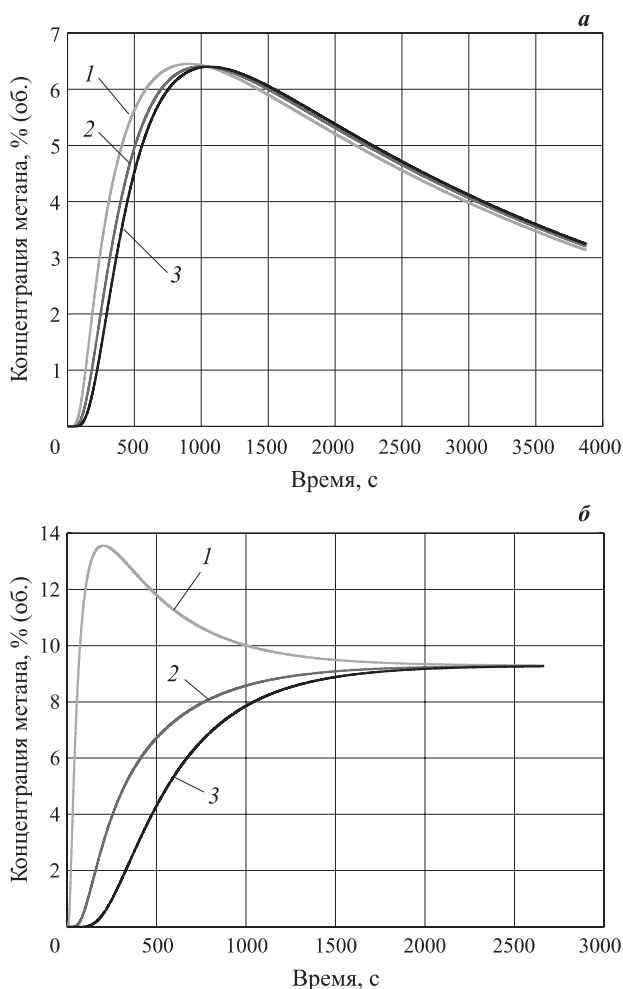


Рис. 5. Расчетные зависимости объемных концентраций в ячейках вывода от времени в экспериментах № 1 (а) и № 2 (б): 1 — нижний датчик № 1; 2 — средний датчик № 2; 3 — верхний датчик № 3

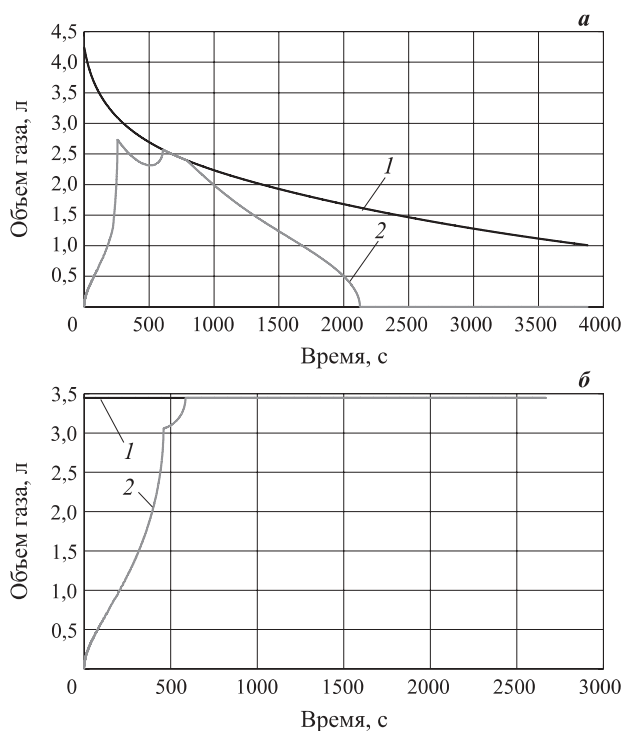


Рис. 6. Изменение объема газа в трубе общего (1) и во взрывоопасном состоянии (2) в течение времени моделирования в экспериментах № 1 (а) и № 2 (б)

С помощью нашей расчетной схемы мы получили изменение Z с течением времени в эксперименте № 1 (рис. 7). Как видно из графика, на 600-й секунде весь газ, находящийся внутри модели, перешел во взрывоопасное состояние, а через 2100 с с момента поступления полностью диффундировал до взрывобезопасной концентрации.

Стоит отметить некоторые соотношения, используемые при математическом моделировании. Модель имела круглое сечение, поэтому для приведения рассчитываемого объема (см. рис. 6) к его форме применялись следующие выражения:

- для общего количества газа $V_{\Gamma}^{общ}$ (м³):

$$V_{\Gamma}^{общ} = \frac{\sum_{i,k=1}^{n_x, n_z} C_i}{100x_0^2 D_{тр} \pi/4}; \quad (2)$$

- для общего количества газа во взрывоопасном состоянии $V_{\Gamma}^{в-оп}$ (м³):

$$V_{\Gamma}^{в-оп} = \frac{\sum_{i,k=1}^{n_x, n_z} C_i^{в-оп}}{100x_0^2 D_{тр} \pi/4}, \quad (3)$$

где C_i — концентрация газа в i -й ячейке, % (об.);
 x_0 — размер ребра ячейки, м;
 $D_{тр}$ — диаметр трубы, м;
 $C_i^{в-оп}$ — концентрация газа в i -й ячейке между нижним и верхним концентрационными пределами воспламенения, % (об.).

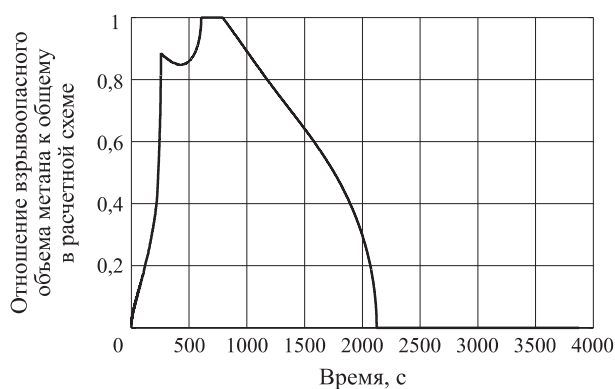


Рис. 7. Изменение объемной доли метана во взрывоопасном состоянии в течение времени моделирования в эксперименте № 1

Тем не менее в расчетах наблюдаются некоторые погрешности, вызванные тем, что применялась двухмерная модель. Из рис. 6 видно, что объем газа, полученный в эксперименте, несколько ниже, чем фактический. Данный недостаток можно устранить использованием трехмерной численной модели с учетом геометрии экспериментальной трубы.

В заключение следует отметить, что процесс рассеивания газа в воздухе сам по себе является достаточно сложным. Некоторые особенности процесса формирования взрывоопасных зон для различных газов рассмотрены в работах [22–27]. Он осложняется отличием плотности горючих газов от плотности воздуха (метан практически в 2 раза легче, поэтому его условно считают “легким газом”), наличием газодинамических явлений и т. п. Тем не менее, исключив влияние газодинамических потоков, можно достоверно определить поля концентрации, размеры зоны загазованности (со взрывоопасной концентрацией газа), образующейся только в процессе турбулентной диффузии, что наглядно показано в данной работе и подтверждено экспериментальными данными.

Выводы

1. Используемая математическая модель достаточно точно описывает процесс распределения метана в помещении и дает представление о физике процессов формирования взрывоопасной смеси в помещении при утечке метана.
2. Предлагаемый метод экспериментального измерения и последующего расчета процессов распределения горючих газов в помещениях дает возможность косвенно определять коэффициент турбулентной диффузии на основе значений концентраций газа в точках измерения.
3. Предлагаемая методика позволяет определять взрывоопасное количество газа в объеме помещения в различные моменты времени, что во многом определяет избыточное давление взрыва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Хуснутдинов Д. З. Взрывная опасность для АЭС, запроектированных и построенных в России без учета взрывной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 21–25.
2. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Громов Н. В. Обеспечение взрывобезопасности и взрывоустойчивости промышленных, транспортных, энергетических и гражданских объектов // Вестник МГСУ. — 2011. — Вып. 1, т. 2. — С. 336–340.
3. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Громов Н. В., Лукьянов И. А., Прозоровский Д. В., Бажина Е. В. Проектирование остекления зданий с учетом требований по взрывоустойчивости и взрывобезопасности // Вестник МГСУ. — 2010. — Вып. 4, т. 2. — С. 51–55.
4. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Гусак Л. Н. Взрывозащита зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 6. — С. 24–25.
5. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. — М. : Пожнаука, 2000. — 482 с.
6. Загуменников Р. А. Недостатки современной оценки пожаровзрывоопасности метана // Сб. ст. по матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием “Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций”, 19 апреля 2013 г. — Воронеж, 2013. — С. 361–363.
7. Васюков Г. В., Корольченко А. Я., Рубцов В. В. К вопросу о категорировании помещений для хранения и технического обслуживания газобаллонных автомобилей // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 1. — С. 25–29.
8. 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.
9. Комаров А. А., Ляпин А. В. Методы повышения безопасности жилых и производственных помещений при аварийных взрывах бытового газа // Промышленное и гражданское строительство. — 2008. — № 3. — С. 51–52.
10. Мокшанцев А. В., Тетерин И. М., Топольский Н. Г. Модели, методы и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при поиске и обнаружении пострадавших под завалами, образующимися в результате чрезвычайных ситуаций, аварий, пожаров и взрывов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. — 2013. — Т. 51, № 5. URL : <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2013-5/19-05-13.ttb.pdf> (дата обращения: 26.09.2014).
11. Симаков В. В., Тетерин И. М., Топольский Н. Г., Зеркаль А. Д., Мокшанцев А. В., Нгуен Тханг Куанг. О применении модуля ближней радиолокации в автоматизированных системах предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. — 2012. — Т. 42, № 2. URL : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-2/11-02-12.ttb.pdf> (дата обращения: 10.02.2015).
12. Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А., Бузаев Е. В. Взрыв газа на газонаполнительной станции в поселке Чагода. Причины и последствия // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 58–64.
13. Комаров А. А., Чиликина Г. В. Условия формирования взрывоопасных облаков в газифицированных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 4. — С. 24–28.
14. Васюков Г. В., Корольченко А. Я., Рубцов В. В. Образование взрывоопасных объемов при аварийном поступлении пропан-бутановых смесей в помещение // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 6. — С. 39–42.
15. Путилов К. А. Курс физики. — М. : Физматгиз, 1963. — Т. 1. — 560 с.
16. Годунов С. К., Рябенский В. С. Разностные схемы (введение в теорию) : учебное пособие. — М. : Наука, 1977. — 440 с.
17. Chuan-jie Zhu, Bai-quan Lin, Bing-you Jiang, Qian Liu, Yi-du Hong. Numerical simulation of blast wave oscillation effects on a premixed methane/air explosion in closed-end ducts // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2013. — Vol. 26, No. 4. — P. 851–861. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013000399> (дата обращения: 28.09.2014).
18. Lei Pang, Tong Wang, Qi Zhang, Qiuju Ma, Lu Cheng. Nonlinear distribution characteristics of flame regions from methane-air explosions in coal tunnels // Process Safety and Environmental Protection. — 2014. — Vol. 92, No. 3. — P. 193–198. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582013000037> (дата обращения: 24.09.2014).

19. Valeria Di Sarli, Almerinda Di Benedetto, Gennaro Russo. Using Large Eddy Simulation for understanding vented gas explosions in the presence of obstacles // Journal of Hazardous Materials. — 2009. — Vol. 169, No. 1–3. — P. 435–442. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409005172> (дата обращения: 24.09.2014).
20. СП 12.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : приказ МЧС России от 25.03.2009 № 172; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
21. Корольченко А. Я. Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. — М. : Пожнаука, 2010. — 117 с.
22. Бузаев Е. В. Формирование взрывопожароопасных облаков тяжелых и легких углеводородных соединений на примере взрывной аварии // Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. “Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации”. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — С. 282–284.
23. Абросимов А. А. Экология переработки углеводородных систем. — М. : Химия, 2002. — 608 с.
24. Маршалл В. Основные опасности химических производств / Пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 672 с.
25. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. — М. : Химия, 1991. — 432 с.
26. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Воробьев Н. С. Модельная задача определения коэффициентов участия водорода в горении и взрыве // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 16–18.
27. 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.

Материал поступил в редакцию 17 февраля 2015 г.

English

EXPERIMENTAL STUDY AND NUMERICAL SIMULATION OF METHANE-AIR MIXTURE FORMATION PROCESS IN PREMISES

KOMAROV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Hydraulics Department, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: bzbb@mail.ru)

VASYUKOV G. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Ecological Safety Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: gl-v@yandex.ru)

ZAGUMENNIKOV R. A., Postgraduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: r-unk@yandex.ru)

BUZAEV E. V., Postgraduate Student, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: buzaevgen@mail.ru)

ABSTRACT

The most dangerous factor in the internal gas explosion is the overpressure, that can lead to the destruction of the building. Methane is the most widespread burnable gas in the oil and gas industry rooms. Usually, while performing explosion overpressure calculation, the most danger scenario is used when space is filled with stoichiometric concentration of air-gas mixture. In real accidents mixture may flame up at any moment that is why it will not be uniformly mixed. In this proceeding the process of explosive mixture formation at instantly ejection is considered. Methane concentrations at different levels have been experimentally estimated. The mathematical simulation by means of turbulent diffusion equation has been performed. The minimal turbulent diffusion coefficient has been determined as $5.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ at a vertical direction in immovable air at a temperature 25 °C. Obtained empirical value turbulent diffusion coefficient present a good agreement of

experimental and calculated data. The proposed method of distribution of methane in the premises enables numerical calculation of the methane amount turned into a dangerously explosive condition with time consideration, in the future determine value ΔP .

Keywords: gas leakage; explosive cloud; turbulent diffusion; methane-air mixture; overpressure.

REFERENCES

1. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Khusnutdinov D. Z. Vzryvnaya opasnost dlya AES, zaproektirovannykh i postroennykh v Rossii bez ucheta vzryvnoy opasnosti [Explosion hazard of nuclear power plants that have been planned and built in Russia without meeting the explosion safety requirements]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 21–25.
2. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Gromov N. V. Obespecheniye vzryvobezopasnosti i vzryvoustoychivosti promyshlennykh, transportnykh, energeticheskikh i grazhdanskikh ob'yektov [Software explosion and industrial blast transport energy and civilian objects]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, issue 1, vol. 2, pp. 336–340.
3. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Gromov N. V., Lukyanov I. A., Prozorovskiy D. V., Bazhina E. V. Proektirovaniye ostekleniya zdaniy s uchedom trebovaniy po vzryvoustoychivosti i vzryvobezopasnosti [Design of glassing for buildings to meet the requires for resistance to explosion and explosion safety]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2010, issue 4, vol. 2, pp. 51–55.
4. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Gusak L. N. Vzryvozashchita zdaniy [Explosion building protection]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 6, pp. 24–25.
5. Brushlinskiy N. N., Korolchenko A. Ya. (eds.). *Modelirovaniye pozharov i vzryvov* [Modeling of fires and explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000. 482 p.
6. Zagumennikov R. A. Nedostatki sovremennoy otsenki pozharovzryvopasnosti metana [The limitations of modern assessment of methane fire and explosion hazadours]. *Sbornik statey po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem “Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoy oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy”* [Proceeding based on the All-Russian scientific-practical conference with international participation “Modern technologies of Civil Defence and Emergency Management”]. Voronezh, 2013, pp. 361–363.
7. Vasyukov G. V., Korolchenko A. Ya., Rubtsov V. V. K voprosu o kategorirovaniy pomeshcheniy dlya khraneniya i tekhnicheskogo obsluzhivaniya gazoballonnykh avtomobiley [On the problem of categorization of premises for storage and technical service of gas-balloon fire automobiles]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 1, pp. 25–29.
8. Komarov A. A., Bazhina E. V. Opredeleniye parametrov dinamicheskikh nagruzok ot avariynykh vzryvov, deystvuyushchikh na zdaniya i sooruzheniya vzryvoopasnykh proizvodstv [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.
9. Komarov A. A., Lyapin A. V. Metody povysheniya bezopasnosti zhilykh i proizvodstvennykh pomeshcheniy pri avariynykh vzryvakh bytovogo gaza [Methods of improvement of residential and industrial buildings safety in case of emergency explosions of domestic gas]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo — Industrial and Civil Engineering*, 2008, no. 3, pp. 51–52.
10. Mokshantsev A. V., Teterin I. M., Topolskiy N. G. Modeli, metody i algoritmy podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy pri poiske i obnaruzhenii postradavshikh pod zavalami, obrazuyushchimisya v rezultate chrezvychaynykh situatsiy, avariyy, pozharov i vzryvov [Models, methods and algorithms of support of decision-making in the search and find survivors under the rubble, formed in the result of emergency situations, accidents, fires and explosions]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2013. vol. 51, no. 5. Available at: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2013-5/19-05-13.ttb.pdf> (Accessed 26 September 2014).
11. Simakov V. V., Teterin I. M., Topolskiy N. G., Zerkal A. D., Mokshantsev A. V., Nguyen Thang Quang. O primeneniі modulya blizhney radiolokatsii v avtomatizirovannykh sistemakh preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy [About use of the module of the near radar-location in the automated systems of the prevention and elimination of emergency situations]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2012. vol. 42, no. 2. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-2/11-02-12.ttb.pdf> (Accessed 10 February 2015).

12. Komarov A. A., Vasyukov G. V., Zagumennikov R. A., Buzaev E. V. Vzryv gaza na gazonapolnitelnoy stantsii v poselke Chagoda. Prichiny i posledstviya [Gas explosion at the gas-filling station in the settlement of Chagoda. Causes and consequences]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 58–64.
13. Komarov A. A., Chilikina G. V. Usloviya formirovaniya vzryvoopasnykh oblakov v gazifitsirovannykh zhilykh pomeshcheniyakh [Conditions of explosive mixture formation in residential houses with gas heating systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 4, pp. 24–28.
14. Vasyukov G. V., Korolchenko A. Ya., Rubtsov V. V. Obrazovaniye vzryvoopasnykh obyemov pri avariynom postuplenii propan-butanovykh smesey v pomeshcheniye [Formation of high explosive volumes during emergency entry of propane-butane mixtures into the premises]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 6, pp. 39–42.
15. Putilov K. A. *Kurs fiziki* [Physics course]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1963, vol. 1. 560 p.
16. Godunov S. K., Ryabenskiy V. S. Raznostnyye skhemy (vvedeniye v teoriyu) [Difference schemes (introduction to the theory)]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 440 p.
17. Chuan-jie Zhu, Bai-quan Lin, Bing-you Jiang, Qian Liu, Yi-du Hong. Numerical simulation of blast wave oscillation effects on a premixed methane/air explosion in closed-end ducts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, July 2013, vol. 26, issue 4, pp. 851–861. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013000399> (Accessed 28 September 2014).
18. Lei Pang, Tong Wang, Qi Zhang, Qiuju Ma, Lu Cheng. Nonlinear distribution characteristics of flame regions from methane–air explosions in coal tunnels. *Process Safety and Environmental Protection*, 2014, vol. 92, issue 3, pp. 193–198. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582013000037> (Accessed 24 September 2014).
19. Valeria Di Sarli, Almerinda Di Benedetto, Gennaro Russo. Using Large Eddy Simulation for understanding vented gas explosions in the presence of obstacles. *Journal of Hazardous Materials*, 30 September 2009, vol. 169, issues 1–3, pp. 435–442. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409005172> (Accessed 24 September 2014).
20. *Set of rules 12.13130.2009. Definition of categories premises, buildings and outdoor facilities for explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 32 p. (in Russian).
21. Korolchenko A. Ya. *Kategorirovaniye pomeshcheniy i zdaniy po vzryvopozharnoy i pozharnoy opasnosti* [Categorization of rooms and buildings on fire and explosion hazard]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2010. 117 p.
22. Buzaev E. V. Formirovaniye vzryvopozharnoопасnykh oblakov tyazhelykh i legkikh uglevodorodnykh soyedineniy na primere vzryvnoy avarii [Formation of explosive clouds of heavy and light hydrocarbon compounds on the example of an explosive accident]. *Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii”* [Proceeding of the International scientific-practical conference “Firefighting: problems, technology, innovation”]. Moscow, 2012, pp. 282–284.
23. Abrosimov A. A. *Ekologiya pererabotki uglevodorodnykh sistem* [Ecology recycling of hydrocarbon systems]. Moscow, Khimiya Publ., 2002. 608 p.
24. Marshall V. C. *Major chemical hazards*. Chichester, Ellis Horwood Ltd., 1987 (Russ. ed.: *Osnovnyye opasnosti khimicheskikh proizvodstv*. Moscow, Mir Publ., 1989. 672 p.).
25. Beschastnov M. V. *Promyshlennyye vzryvy. Otsenka i preduprezhdeniye* [Industrial explosions. Assessment and prevention]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 432 p.
26. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Vorobyev N. S. Modelnaya zadacha opredeleniya koeffitsientov uchastiya vodoroda v gorenii i vzryve [A model problem of determining participation rates of hydrogen combustion and explosion]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 16–18.
27. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire in the room and their application in solving practical problems fire and explosion safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.

В. Г. МЕРЗЛЯКОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Горное и нефтегазовое оборудование”, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ) (Россия, 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38; e-mail: mgou-vgm@mail.ru)

И. В. ДЕРЕВЯШКИН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Горное дело”, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ) (Россия, 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38; e-mail: robotron-04@mail.ru)

УДК 622.81;622.236.732

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВОСПЛАМЕНЕНИЙ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ПРИ РАБОТЕ ВЫЕМОЧНЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ МАШИН

Приведен анализ состояния и направлений исследований по предотвращению воспламенений метана и угольной пыли при работе выемочных и проходческих машин. Выявлено, что источником инициирования воспламенения пылеметановоздушной среды является высокотемпературное “пятно” в месте фрикционного контакта реза с разрушаемой породой. Показано, что взрывобезопасность работы инструмента и минимальное пылевыведение в процессе разрушения угля или горной породы обеспечиваются при высоконапорном орошении либо гидромеханическом разрушении пород путем подачи струй воды непосредственно в зону контакта инструмента с разрушаемым массивом. Разработаны схемы компоновки гидравлического оборудования на очистном и проходческом комбайнах, обеспечивающие их эффективную работу в режиме высоконапорного орошения либо гидромеханического разрушения угля и горных пород.

Ключевые слова: выемочные и проходческие машины; воспламенение метана и угольной пыли; фрикционное контактирование реза с породой; высоконапорное орошение; гидромеханический способ разрушения угля и горных пород.

Общеизвестно, что в настоящее время в России 70 % угольных шахт относятся к опасным по газу (метану), а 55 % — к сверхкатегорным и выбросоопасным. 90 % разрабатываемых угольных пластов относятся к опасным по взрывам пыли.

Взрывы, вспышки и загорания метана составляют 96 % от общего числа аварий, происходящих в связи с нарушением пылегазового режима в угольных шахтах РФ. Вспышки метана даже локального характера опасны тем, что они могут привести к крупным взрывам газопылевоздушных смесей и вследствие этого к большим человеческим, материальным и финансовым потерям. В очистных забоях в развитии взрывы переходит до 1,5 % локальных вспышек, инициированных фрикционными искрами при работе выемочных машин, а в подготовительных выработках во взрывы метана и угольной пыли перерастает до 20 % вспышек при работе проходческих комбайнов.

Из результатов анализа Макеевского научно-исследовательского института (МакНИИ) за 30 лет разработки фактического материала по взрывам (вспышкам), происшедшим на угольных шахтах, следует, что при работе выемочных, проходческих и буровых машин фрикционное искрение по опасности его воз-

никновения занимает второе место. При этом в очистных забоях по этой причине произошло 45,3 % случаев воспламенений метана и угольной пыли, а в тупиковых забоях подготовительных выработок — 10,1 % [1]. До 87 % взрывов угольной пыли в шахтах было инициировано взрывами (воспламенениями) метана.

Аналогичная ситуация складывается и за рубежом. Так, в США в результате фрикционного искрения резов при разрушении угольного массива режущими инструментами происходит около 50 % вспышек метана, в ЮАР — до 70 % случаев его воспламенения.

Процесс фрикционного контакта инструмента с горными породами и фрикционного искрения является предметом серьезного и длительного изучения в большинстве угледобывающих стран. Особое внимание этому направлению уделялось в СССР (МакНИИ, Институт горного дела им. А. А. Скочинского) и США (Горное Бюро США). Актуальность этой проблемы до настоящего времени не утрачена, поскольку эффективного практического решения ее пока не найдено.

Основные результаты этих исследований сводятся к следующему [1–3]. Установлено, что вероятность

воспламенения угольной пыли при трении о пирит практически равна единице при нагрузке на один резец от 1 до 3 кВт и выше. Чем интенсивнее нагрузка, тем быстрее происходит воспламенение. Причем количество работающих резцов не оказывает заметного влияния на вероятность воспламенения.

При трении по песчанику взрыв угольной пыли отмечался при добавке в пылевоздушную смесь 2,7 % и более метана. При меньшем содержании метана взрывов пыли зафиксировано не было.

Исследованиями установлены различия в воспламенении угольной пыли и метана в результате трения резцов о включения пирита и песчаника. При трении резца исполнительного органа комбайна о пирит возникает ореол воспламеняющегося облака пиритной пыли на расстоянии 0,1–0,2 м от резца, а иногда и ближе. Длина факела пламени достигает 0,4 м при его диаметре 0,1–0,2 м. Отбрасываемые частицы пиритной пыли, нагретые при трении резцом до 350–400 °С, попадая в воздух, воспламеняются и сгорают в течение 0,2–0,3 с. Это свидетельствует о значительной энергии и большой длительности действия источника воспламенения, достаточных для поджигания не только метана, но и угольной пыли.

При движении резца по песчанику образуется раскаленный след длиной 8–10 мм с временем существования яркого “пятна” около 5 мс, от которого и развивается взрыв метана. Различия в процессе воспламенения метана и угольной пыли от фрикционных источников объясняются прежде всего разными периодами индукции. Метан при одной и той же температуре имеет в десятки раз меньший период индукции, чем угольная пыль. Вспышка пиритной пыли является мощным, со значительной длительностью воздействия (200–250 мс) источником воспламенения угольной пыли. Времени существования раскаленного следа (5 мс), оставляемого резцом, оказывается недостаточно для пиролиза угля с выделением необходимого количества газообразных продуктов и их последующего воспламенения. Добавка метана к пылевоздушной смеси сокращает время ее индукции. Так, добавление 2,7 % и более метана снижает общий период индукции пылеметановоздушной смеси до 5 мс и менее и в конце концов приводит к ее взрыву.

Результаты исследований показывают, что мероприятия по пылевзрывозащите от воздействия фрикционного источника воспламенения необходимо применять не только в газовых шахтах, но и в шахтах, опасных по взрывам угольной пыли. Что касается угольных пластов, то, как правило, они содержат включения пирита в виде линз и конкреций различных размеров, распределение которых в пласте носит

случайный характер, поэтому вероятность контакта их с режущим инструментом не прогнозируется.

Исследования показали также, что при коэффициенте крепости пород по шкале М. М. Протодьяконова 6 и менее воспламенений метана от фрикционного источника не наблюдается, при крепости 8–9 вероятность воспламенений составляет 0,16, а при крепости 11–16 — 1,0. При трении резцов о пирит с содержанием серы 45–50 % вероятность воспламенений метана составляет 1,0. К опасным по фрикционным искрениям относятся песчаники с коэффициентом крепости 8 и выше. Воспламенение пиритной пыли возможно лишь при содержании серы 35 % и более при длине следа резца не менее 10 см. Было установлено, что предотвращение вспышек и взрывов метана и угольной пыли при работе выемочных и проходческих машин в горном массиве с песчаниками крепостью 8 и выше по шкале Протодьяконова и с включениями пирита с содержанием серы более 35 % обеспечивается взрывозащитным орошением с расходом воды не менее 2 л/мин на один резец при давлении не менее 4 МПа, что регламентировано действующими правилами безопасности.

В связи с изложенным следует полагать, что в дальнейшем степень технического совершенства новых поколений горных машин и безопасность их использования в существенной мере будут определяться тем, в какой мере конструкция их исполнительных органов, режущего инструмента и средств взрывозащиты обеспечивает уровень взрывобезопасности процесса разрушения углепородного массива.

Выполненные ранее теоретические и практические разработки в первую очередь были направлены на создание эффективных систем орошения, исключающих возможность воспламенения метана [4]. Эффективность достигалась подачей струй воды на каждый резец исполнительного органа (в большинстве случаев сзади на след резца), увеличением давления (3 МПа и более), повышением надежности систем орошения за счет их внутренней разводки и т. д. В меньшей степени (и только за рубежом) на комбайнах применялись исполнительные органы со встроенными эжекторами для отсоса из зоны разрушения, наряду с пылью, метана. Однако в последние годы интерес к этим решениям упал в силу их низкой эффективности.

По конструктивным параметрам и условиям применения различают три поколения исполнительных органов с водоструйными устройствами:

1) в водоструйных устройствах низкого давления (внешних и внутренних) орошение резцов водой осуществляется под низким давлением (до 4 МПа) при минимальном расходе воды на один резец 2 л/мин;

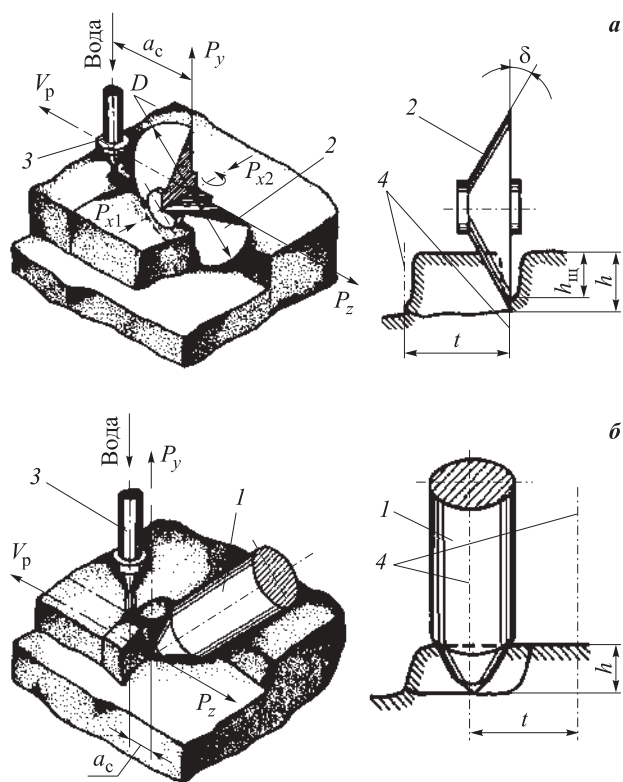


Рис. 1. Схемы гидромеханического разрушения угля и горных пород: *а* — струей воды и механическим инструментом скалывающего действия (дисковой шарошкой); *б* — струей воды и резовым инструментом; 1 — резец; 2 — дисковая шарошка; 3 — струеформирующее устройство; 4 — линия резания; P_z, P_y, P_x — усилия соответственно резания, подачи и боковое, действующие на механический инструмент; a_c — опережение струи воды; V_p — скорость резания; h — глубина стружки; t — шаг резания; $h_{щ}$ — глубина опережающей щели; D, δ — диаметр и угол заострения клинового обода дисковой шарошки

2) в устройствах второго поколения орошение резов водой происходит под средним давлением 15–20 МПа (высоконапорное орошение) при расходе воды на один резец 40–60 л/мин;

3) в устройствах третьего поколения (гидромеханический способ разрушения угля и горных пород) применяются компактные высокоскоростные струи воды под давлением 30–100 МПа и более.

Гидромеханический способ разрушения основан на комбинированном воздействии на горный массив высокоскоростной струи воды и механического инструмента скалывающего (рис. 1,а) или режущего (рис. 1,б) действия. Эффективность гидромеханического способа определяется эффективностью составляющих его механического и гидравлического способов.

При разработке исполнительных органов с водоструйными устройствами третьего поколения в первую очередь предполагается решить следующие задачи: исключить пыле- и искрообразование; уменьшить расход резов; повысить производительность

очистных и проходческих комбайнов без увеличения их массы и установленной мощности двигателей исполнительных органов.

В действующих Правилах безопасности в угольных шахтах [5] и инструкциях к ним при разработке угольных пластов с включениями кварцитов и сернистого колчедана в качестве мер взрывозащиты предписывается взрывозащитное орошение на выемочных и проходческих машинах при давлении жидкости не менее 4 МПа и расходе ее не менее 2 л/мин на резец. Необходимо отметить, что в настоящее время эффективность пылеподавления внешних низконапорных оросительных систем достигла своего предела. При этом остаточная запыленность воздуха сохраняется на уровне 20 %. Дальнейшее повышение эффективности внешних систем пылеподавления за счет увеличения мощности распыления нецелесообразно, так как это приведет к переувлажнению отбитой горной массы, уносу диспергированной жидкости в рабочую зону и обводнению призабойного пространства.

Практика последних лет показывает, что не только внешние, но и внутренние оросительные системы низкого давления не обеспечивают в полной мере гарантированную взрывозащиту и недостаточно эффективны с точки зрения снижения запыленности в очистных забоях [6]. Кроме организационных и экономических причин такого положения, необходимо признать и влияние таких объективных факторов, как увеличение нагрузки на очистной забой, повышение мощности приводов и скорости резания исполнительных органов горных машин, а также переход на ряде шахт к освоению нижележащих горизонтов с повышенным выделением метана.

Результаты НИОКР, выполненных в РФ при нашем участии, и анализ тенденций создания современных систем пылевзрывозащиты за рубежом (в Германии, Англии, США и др.) позволяют сделать вывод, что значительно более высокой эффективностью и надежностью по сравнению с традиционными системами низконапорного орошения обладают высоконапорные внутренние системы орошения с подачей на след резов водяных струй с давлением 10–20 МПа (устройства второго поколения). Вместо форсунок, в которых распыление жидкости достигается за счет искусственной турбулизации, в системах высоконапорного орошения используются струеформирующие насадки, обеспечивающие распыление струи за счет естественных процессов, вызванных повышением давления и увеличением скорости истечения. При этом достигается более интенсивное эжектирование воздуха и тем самым активизируется удаление метана из зоны резания. Повышение скорости водяного потока способствует более эффективному связыванию взрывоопасной

пыли тонких фракций, увеличению уноса тепла и, следовательно, более эффективному охлаждению режущего инструмента и его раскаленного следа в горной породе. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что струя воды в состоянии эффективно охладить раскаленные частицы породы под вершиной резца, не допустить возникновения искр и тем самым устранить опасность взрыва метана. При этом доля пыли, способной проникнуть в легкие, уменьшается на 83,9 %, а крупной пыли — на 92,1 %.

Перспективной представляется разработанная в Институте горного дела им. А. А. Скочинского совместно с Тульским государственным университетом система высоконапорного орошения, предназначенная для модернизации проходческих комбайнов с целью повышения эффективности подавления искрообразования в зоне контакта резца с породой и улучшения пылеподавления [4, 7]. Система содержит комплект навесного оборудования, достаточный для монтажа и отладки на полностью собранном комбайне, в том числе в условиях рудоремонтного завода (рис. 2). Преобразователь давления обеспечивает повышение давления с 0,6–2,0 МПа на входе до 15–20 МПа на выходе и расход высоконапорной воды 50–75 л/мин.

Несмотря на очевидные достоинства высоконапорного орошения следует признать, что максимальный эффект пылеподавления и взрывозащиты очистных комбайнов может быть достигнут только при использовании гидромеханического комбинированного способа разрушения угля с использованием компактных струй воды под давлением до 30 МПа.

Зарубежный опыт применения тонких водяных струй высокого давления при резании горных пород [8–10] также подтверждает эффективность гидроструйных технологий в горном деле.

В России работы по созданию гидромеханических исполнительных органов для серийно выпускаемых выемочных комбайнов были в основном сосредоточены в Институте горного дела им. А. А. Скочинского и Подмосковном научно-исследовательском угольном институте, где были проведены фундаментальные исследования комбинированного разрушения угля с использованием высокоскоростных струй воды и разработаны гидромеханические шнековые исполнительные органы для очистных ком-

байнов типа КШ-3Г и 1КШЭГ. Промышленные испытания опытных образцов выемочных комбайнов с гидромеханическими шнековыми исполнительными органами были проведены в Кузбассе на шахтах “Нагорная” ПО “Гидроуголь” и им. В. И. Ленина ПО “Южжубассуголь” [4]. Испытания показали, что в режиме гидромеханического разрушения угля при давлении воды более 20 МПа обеспечивается предельно допустимая концентрация пыли. Запыленность воздуха на рабочем месте машиниста составляет всего 8 мг/м³, а в 10 м выше комбайна — 7–18 мг/м³. При работе гидромеханических исполнительных органов в режиме высоконапорного орошения водой под давлением 15 МПа запыленность воздуха достигает 150 мг/м³, а при использовании типовой низконапорной системы — 400 мг/м³.

Вместе с тем в процессе эксплуатации комбайнов КШ-3Г и 1КШЭГ с гидромеханическими исполнительными органами было установлено, что использование специального шлангоукладчика для шлангов высокого давления в ряде случаев не исключает их разрывов и, как следствие, травмирования горнорабочих. Расположение насосных установок высокого давления на штреке приводит к определенным потерям давления и увеличивает на 5–10 % суммарные энергозатраты на разрушение. Кроме того, при проведении промышленных испытаний комбайнов КШ-3Г и 1КШЭГ было отмечено, что установленные мощности электродвигателей как комбайнов, так и насосных установок, расположенных на штреке, используются нерационально. Как правило, отстающий шнек вынимает уголь не на полный диаметр и не загружает работающий на него электродвигатель. При этом гидравлическая энергия расходуется вхолостую, что также приводит к перерасходу электроэнергии.

Для устранения указанных выше недостатков в ИГД им. А. А. Скочинского совместно с ПНИУИ была разработана схема компоновки угледобывающего комбайна нового технического уровня с расположенными по концам его корпуса насосными установками с системой автоматического управления (рис. 3).

Гидравлическая схема комбайна и автоматическая система перераспределения гидравлической мощности насосов высокого давления обеспечива-

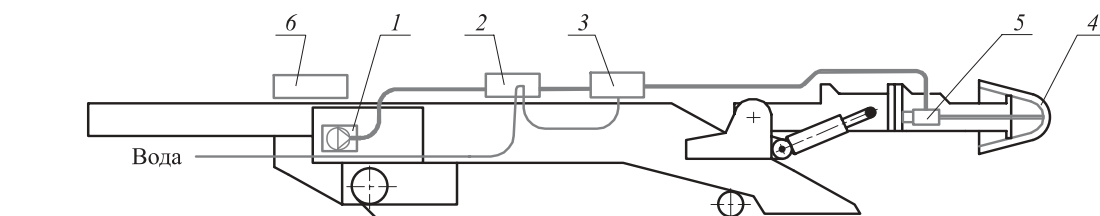


Рис. 2. Схема компоновки системы высоконапорного орошения на проходческом комбайне: 1 — блок насосный; 2 — гидропанель; 3 — преобразователь давления; 4 — режущая коронка; 5 — водосъемник; 6 — электрооборудование

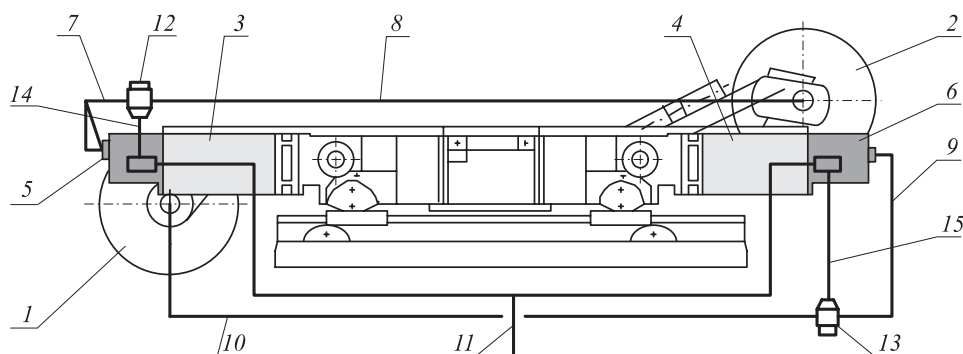


Рис. 3. Схема размещения гидрооборудования на очистном комбайне: 1, 2 — гидромеханические исполнительные органы; 3, 4 — электродвигатели исполнительных органов; 5, 6 — гидронасосы высокого давления; 7–10 — высоконапорные трубопроводы; 11 — низконапорный водовод; 12, 13 — электрогидравлические элементы; 14, 15 — сбросные трубопроводы

ют подачу высоконапорной воды от менее нагруженного исполнительного органа, работающего со сниженным потреблением мощности, на исполнительный орган, работающий в более нагруженном заблокированном режиме резания.

Автоматическая система перераспределения гидравлической мощности насосов высокого давления работает следующим образом.

При включении комбайна и движении его по конвейеру электродвигатели комбайна приводят в работу одновременно исполнительные органы и гидронасосы. От шахтного противопожарного става вода низкого давления по трубопроводу 11 поступает во всасывающую магистраль гидронасосов. От гидронасоса 5 по напорным магистралям 7 и 8 через полость полого вала вода высокого давления направляется в каналы исполнительного органа 2, а от гидронасоса 6 по напорным магистралям 9 и 10 через полость полого вала — в каналы исполнительного органа 1. Опережающий исполнительный орган 2 работает в заблокированном режиме и его электродвигатель нагружен значительно больше, чем электродвигатель отстающего исполнительного органа, вынимающего остающуюся после исполнительного органа 2 пачку угля. Электрический сигнал с датчика тока электродвигателя опережающего органа поступает на блок автоматического управления комбайном, а от него через тиристорные преобразователи — на электромагниты управляющих элементов. При этом в управляющем элементе 13 игла отходит от седла и увеличивает сечение сбросного отверстия, а в управляющем элементе 12 игла перемещается в направлении к седлу, уменьшая сечение сбросного отверстия. Позиционирование подвижных игл относительно седел в управляющих элементах 12 и 13 определяется напряжением на выходе из тиристорных преобразователей, которое определяется силой тока в цепи питания электродвигателя опережающего исполнительного органа и зависит от его нагрузки.

При уменьшении сбросного отверстия в элементе 12 давление воды на выходе из гидронасоса 5 повышается, вызывая рост потребляемой им электрической мощности. От гидронасоса 5 вода под высоким давлением и с большим расходом поступает в каналы опережающего исполнительного органа 2, работающего в более тяжелых условиях. Вода от гидронасоса 6 под пониженным давлением (за счет большего открытия сбросного отверстия в элементе 13) поступает к насадкам исполнительного органа 1, работающего по сравнению с опережающим органом в менее тяжелом режиме. Поскольку давление воды на выходе из гидронасоса 6 ниже, то и мощность, потребляемая им от более нагруженного электродвигателя, будет меньше, чем у гидронасоса 5.

Таким образом, с увеличением нагрузки на опережающем исполнительном органе потребляемая его электродвигателем мощность возрастает, а потребляемая мощность гидронасоса 6, связанного с этим электродвигателем и подающего воду на отстающий исполнительный орган 1, снижается. В то же время возрастает потребляемая мощность гидронасоса 5, связанного с электродвигателем менее нагруженного органа и подающего воду под высоким давлением на опережающий исполнительный орган.

При обратном движении комбайна по лаве в качестве опережающего исполнительного органа будет служить исполнительный орган 1, а исполнительный орган 2 будет работать в менее нагруженном режиме. В этом случае система автоматического регулирования давления воды на выходе из гидронасосов и потребляемой ими электрической мощности будет подключена к датчику тока электродвигателя 3. В остальном работа комбайна и элементов его управления не отличается от описанной выше.

Система автоматического управления насосными установками комбайна обеспечивает повышение эффективности выемки угля за счет автоматического регулирования потребляемой электрической мощности при давлении воды на выходе из гидронасосов от 0 до 32 МПа. Комбайн может работать в

режиме как гидромеханического разрушения, так и высоконапорного орошения.

При работе комбайна в режиме высоконапорного орошения формируемые в насадках струи воды под давлением 10–15 МПа подаются на след резцов. Минимальный диаметр насадок выбирается из соотношения $d_0 > 0,7$ мм. Получение заданного диаметра факела струи возможно за счет изменения длины начального участка струй. Это может быть достигнуто, например, путем увеличения угла конусности струеформирующих насадок в пределах 20–60°, что вызывает изменение интенсивности расхода струи.

При работе комбайна в режиме гидромеханического разрушения максимальные значения расходных характеристик насосных установок комбайна согласовываются с его производительностью из расчета 30–40 л на 1 т, что обеспечивает допустимые значения влажности добываемого угля.

Резцедержатели режущих поперечно-осевых барабанов оборудованы струеформирующими устройствами радиального типа. При этом струя воды контактирует с породным массивом непосредственно позади резцов, обеспечивая охлаждение и самих резцов, и их следа в породе. Эффективная изоляция области пылевыведения в зоне резания достигается за счет обеспечения необходимого для этого диаметра струи в контакте с разрушаемым массивом и достигается соответствующим выбором параметров насадок с конусно-цилиндрическим профилем проточной части (рис. 4).

Экспериментальные исследования позволили с достаточно высокой надежностью ($R^2 = 0,854$) получить зависимость для определения диаметра тонких водяных струй высокого давления для насадок этого типа на различных расстояниях:

$$D_c = 2,1d_0 \left(\frac{l}{l_n} \right)^{0,24}, \quad (1)$$

где D_c — диаметр струи, мм;

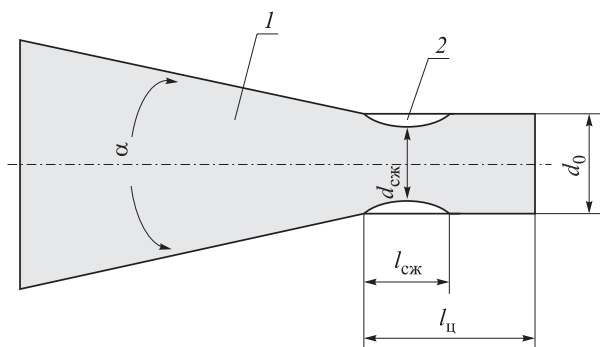


Рис. 4. Схема профиля проточной части насадки: 1 — зона основного течения; 2 — зона сжатия водяного потока длиной $l_{сж}$ до диаметра $d_{сж}$; $l_{ц}$ — длина цилиндрической части насадки

d_0 — диаметр насадки, мм;

l — расстояние до насадки, мм;

l_n — длина начального участка струи, определяющая качество струеформирования, мм.

Зависимость (1) может быть использована для расчетов диаметров водяных струй в диапазоне изменения диаметра d_0 струеформирующих насадок от 0,5 до 3,0 мм и при давлении воды менее 550 МПа.

Для определения безразмерной длины начального участка водяной струи в автомоделном режиме истечения $(l_n/d_0)_a$ была получена универсальная зависимость, которая учитывает все основные факторы, определяющие компактность водяных струй [4]:

$$\left(\frac{l_n}{d_0} \right)_a = 25K_{ц} K_{\alpha} \lg K_{п} \left(\frac{d_0}{R_{за}} \right)^{0,17} \left(1 - 1,3e^{-0,1 \frac{l_k}{d_k}} \right), \quad (2)$$

где $K_{ц}$ — коэффициент, учитывающий влияние длины цилиндрической части струеформирующей насадки на длину начального участка тонких струй высокого давления;

K_{α} — коэффициент, учитывающий влияние угла конусности насадки в диапазоне $\alpha = (13 \div 25)^\circ$ на длину начального участка тонких струй высокого давления;

$K_{п}$ — коэффициент, учитывающий поджатие потока в струеформирующей насадке; $K_{п} = d_k/d_0$; l_k/d_k — отношение длины канала струеформирующего устройства к его диаметру;

$R_{за}$ — параметр шероховатости внутренней поверхности струеформирующей насадки.

Зависимость для определения коэффициента K_{α} имеет вид:

$$K_{\alpha} = 0,188\alpha - 0,007\alpha^2 - 0,26. \quad (3)$$

Зависимости для определения коэффициента $K_{ц}$ имеют следующий вид:

- для $l_{ц}/d_0 < 4$:

$$K_{ц} = e^{0,43(n-4)}; \quad (4)$$

- для $l_{ц}/d_0 > 4$:

$$K_{ц} = e^{0,43(4-n)} + 0,07(n-4), \quad (5)$$

где $n = l_{ц}/d_0$.

При этом при $n = 4$ значение $K_{ц} = 1$.

Зависимости (2)–(5) позволяют производить уточненный расчет длины начального участка струи и определять ее диаметр на заданном расстоянии от струеформирующей насадки с учетом конструктивных особенностей и качества изготовления струеформирующих элементов.

Результаты исследований могут быть использованы также при разработке средств механизации для очистных, подготовительных и вспомогательных работ с использованием гидроструйных технологий [11–13].

Выводы

Проблема борьбы с воспламенениями (взрывами) метана и угольной пыли в шахтах от фрикционного искрения является весьма актуальной. Причины взрывов связаны не с собственно искрообразованием, а с высокотемпературным “пятном” фрикционного контакта резца с породой, который и является источником инициирования воспламенения пыле-метановоздушной среды.

Взрывобезопасность работы инструмента и минимальное пылевыведение в процессе разрушения

угля или горной породы обеспечиваются при высоконапорном орошении либо гидромеханическом разрушении пород путем подачи струй воды непосредственно в зону контакта инструмента с разрушаемым массивом. Определены их рациональные параметры и разработаны схемы компоновки гидравлического оборудования на очистном и проходческом комбайнах, обеспечивающие их эффективную работу в режиме высоконапорного орошения либо гидромеханического разрушения угля и горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нецепаев М. И., Любимова А. И., Петрухин П. М. и др.* Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. — М. : Недра, 1992.
2. *Кочерга Н. Г.* Предотвращение вспышек метана при работе исполнительных органов горных машин с помощью водяного орошения // Безопасная эксплуатация электромеханического оборудования в шахтах. — 1971. — Вып. 3. — С. 24–29.
3. *Саранчук В. И., Качан В. Н., Рекун В. В. и др.* Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли. — Киев : Наукова думка, 1984.
4. *Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е.* Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. — М. : НИЦ ГП ИГД им. А. А. Скочинского, 2004. — 645 с.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности в угольных шахтах” : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.11.2013 № 550; зарег. в Минюсте России 31.12.2013, рег. № 30961. URL : <http://docs.pravo.ru/document/view/52073685/63162816> (дата обращения: 10.11.2014).
6. *Костарев А. П.* О предупреждении взрывов метана и пыли и снижении взрывоопасности шахт // Уголь. — 2002. — № 1. — С. 57–62.
7. *Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Поляков Ал. В., Головин К. А., Антипов Ю. В.* Разработка, создание и испытания системы высоконапорного орошения для проходческого комбайна КП21 // Горное оборудование и электромеханика. — 2012. — № 2 — С. 7–10.
8. *Jiang Hongxiang, Du Changlong, Liu Songyong, Gao Kuidong.* Numerical Simulation of Rock Fragmentation under the Impact Load of Water Jet // Shock and Vibration. — 2014. — Vol. 2014, art. ID 219489. — 11 p. doi: 10.1155/2014/219489.
9. *Yang G. L., Zhou W. H., Liu F.* Simulation of flow field of high-pressure water-jet from nozzle with fluent // Journal of Lanzhou University of Technology. — 2008. — Vol. 34, No. 2. — P. 49–52.
10. *Wang J.* Predictive depth of jet penetration models for abrasive waterjet cutting of alumina ceramics // International Journal of Mechanical Sciences. — 2007. — Vol. 49, No. 3. — P. 306–316.
11. *Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е., Байдинов В. Н.* Механизация горных работ с использованием гидротехнологий // Горное оборудование и электромеханика. — 2010. — № 6. — С. 2–6.
12. *Мерзляков В. Г.* Область применения и методика определения сил резания и подачи на резцовом инструменте гидромеханических проходческих комбайнов // Горное оборудование и электромеханика. — 2014. — № 11. — С. 41–44.
13. *Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Антипов В. В., Антипов Ю. В.* Гидромеханические исполнительные органы проходческих комбайнов // Горное оборудование и электромеханика. — 2008. — № 4. — С. 12–16.

Материал поступил в редакцию 21 ноября 2014 г.

English

DEVELOPMENT OF MEASURES TO PREVENT IGNITION OF METHANE AND COAL DUST EXCAVATION AND TUNNELING MACHINES

MERZLYAKOV V. G., Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Mining and Oil-and-Gas Equipment Department, Moscow State Engineering University (B. Semenovskaya St., 38, Moscow, 107023, Russian Federation; e-mail address: mgou-vgm@mail.ru)

DEREVYASHKIN I. V., Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of Mining Department, Moscow State Engineering University (B. Semenovskaya St., 38, Moscow, 107023, Russian Federation; e-mail address: robotron-04@mail.ru)

ABSTRACT

The analysis of the status and research directions prevent ignition of methane and coal dust at operation extraction and tunneling machines. It is revealed that the source of initiation of ignition of the dust-methane-air environment is a high temperature spot frictional contact of the cutter with destructible rock. The explosion safety of work instrument and the minimum the emission of dust in the process of destruction of coal or rock are provided with high-pressure irrigation or hydro-mechanical destruction of rocks by filing jets of water directly into the zone of contact of the tool with destructible array. Designed layouts of hydraulic equipment for mining and tunneling machines for their effective operation in the regime of high-pressure irrigation or hydro-mechanical destruction of coal and rocks.

Keywords: excavation and tunneling machine; ignition of methane and coal dust; frictional engagement of the cutter with the breed; high-pressure irrigation; hydro-mechanical method of destruction of coal and rocks.

REFERENCES

1. Netsepaev M. I., Lyubimova A. I., Petrukhin P. M. et al. *Borba so vzryvami ugolnoy pyli v shakhtakh* [Struggle with explosions of coal dust in mines]. Moscow, Nedra Publ., 1992.
2. Kocherga N. G. Predotvrashcheniye vspyshek metana pri rabote ispolnitelnykh organov gornyx mashin s pomoshchyu vodyanogo orosheniya [To prevent outbreaks of methane in the work of the executive bodies of mining machines using a water irrigation]. *Bezopasnaya ekspluatatsiya elektromekhanicheskogo oborudovaniya v shakhtakh — Safe Operation of Electrical and Mechanical Equipment in the Mines*, 1971, issue 3, pp. 24–29.
3. Saranchuk V. I., Kachan V. N., Rekun V. V. et al. *Fiziko-khimicheskiye osnovy gidroobespylivaniya i preduprezhdeniya vzryvov ugolnoy pyli* [Physico-chemical fundamentals of hydraulic dust removal and prevent coal dust explosions]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1984.
4. Merzlyakov V. G., Baftalovskiy V. E. *Fiziko-tekhnicheskiye osnovy gidrostruynykh tekhnologiy v gornom proizvodstve* [Physical and technical principles of water-jet technology in the mining industry]. Moscow, A. A. Skochinsky Institute of Mining Publ., 2004. 645 p.
5. *Federal norms and rules in the field of industrial safety “Rules of safety in coal mines”*. Available at: <http://docs.pravo.ru/document/view/52073685/63162816> (Accessed 10 November 2014) (in Russian).
6. Kostarev A. P. O preduprezhdenii vzryvov metana i pyli i snizhenii vzryvoopasnosti shakht [On the prevention of explosions of methane and dust and reducing the explosive mines]. *Ugol — Coal*, 2002, no. 1, pp. 57–62.
7. Zhabin A. B., Polyakov An. V., Polyakov Al. V., Golovin K. A., Antipov Yu. V. Razrabotka, sozdaniye i ispytaniya sistemy vysokonapornogo orosheniya dlya prokhodcheskogo kombayna KP21 [Development, creation and testing of the high-pressure irrigation system]. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika — Mining Equipment and Electromechanics*, 2012, no. 2, pp. 7–11.
8. Jiang Hongxiang, Du Changlong, Liu Songyong, Gao Kuidong. Numerical Simulation of Rock Fragmentation under the Impact Load of Water Jet. *Shock and Vibration*, 2014, vol. 2014, art. ID 219489. 11 p. doi: 10.1155/2014/219489.
9. Yang G. L., Zhou W. H., Liu F. Simulation of flow field of high-pressure water-jet from nozzle with fluent. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2008, vol. 34, no. 2, pp. 49–52.
10. Wang J. Predictive depth of jet penetration models for abrasive waterjet cutting of alumina ceramics. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2007, vol. 49, no. 3, pp. 306–316.
11. Merzlyakov V. G., Baftalovskiy V. E., Badinov V. N. Mekhanizatsiya gornyx rabot s ispolzovaniyem gidrotekhnologiy [On using hydraulic technology for mechanization of mining operations]. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika — Mining Equipment and Electromechanics*, 2010, no. 6, pp. 2–6.
12. Merzlyakov V. G. Oblast primeneniya i metodika opredeleniya sil rezaniya i podachi na reztsovom instrumente gidromekhanicheskikh prokhodcheskikh kombaynov [Scope and method to determine forces cutting and feed on the cutting tool hydromechanical road headers]. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika — Mining Equipment and Electromechanics*, 2014, no. 11, pp. 41–44.
13. Zhabin A. B., Polyakov An. V., Antipov V. V., Antipov Yu. V. Gidromekhanicheskiye ispolnitelnyye organy prokhodcheskikh kombaynov [Hydromechanical executive bodies of heading machine]. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika — Mining Equipment and Electromechanics*, 2008, no. 4, pp. 12–16.

Г. Г. ОРЛОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.841.123.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ХАРАКТЕРА ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИНЕРЦИОННЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Показано, что при решении практических задач взрывозащиты промышленных зданий и сооружений необходимо в одинаковой степени уметь правильно подобрать площадь и параметры предохранительных конструкций для обеспечения снижения возникающих нагрузок до безопасных величин и рассчитать несущие конструкции на динамическую устойчивость при сохранении их несущей способности, а для этого необходимо определить нагрузки, возникающие при взрыве горючих смесей внутри помещений. Приведены допущения, на которых основывается математическая модель, описывающая динамику сгорания горючих смесей в объеме с учетом их истечения. Приведены расчетные схемы для определения нагрузок на конструкции при взрыве горючих смесей в разных объемах с различными видами ЛСК. Приведены системы уравнений для определения величины и характера нагрузок на ограждающие конструкции при использовании различных видов инерционных ЛСК. Составлена программа на ЭВМ для решения данных систем.

Ключевые слова: взрывные нагрузки; предохранительные конструкции; горючие газо-, паро- и пылевоздушные смеси; устойчивость несущих конструкций; взрывозащита.

Одной из основных задач в общей проблеме взрывобезопасности является умение определять нагрузки на ограждающие конструкции, возникающие при взрыве горючих газо-, паро- и пылевоздушных смесей внутри помещения. Существующая теория горения, взрыва и детонации горючих смесей отвечает на вопросы, связанные с явлениями взрывного горения при течении таких процессов в трубах [1, 2]. В то же время взрывы горючих смесей в больших объемах, соизмеримых с объемами промышленных зданий, изучены недостаточно. В связи с этим при решении практических задач защиты зданий взрывоопасных производств от разрушений при построении модели для определения величины и характера взрывных нагрузок, действующих на строительные конструкции, заведомо следует принимать такие исходные данные, которые позволят получать надежные результаты по обеспечению взрывозащиты [3, 4].

Основная идея защиты промышленных зданий при взрыве горючих смесей внутри помещения заключается в обеспечении прочности и устойчивости

несущих конструкций, а также разрушения или вскрытия специальных предохранительных конструкций (ПК) при минимальных нагрузках (импульс, давление). Таким образом, при решении практических задач взрывозащиты промышленных зданий и сооружений необходимо в одинаковой степени уметь правильно подобрать площадь и параметры ПК для обеспечения снижения возникающих нагрузок до безопасных величин и рассчитать несущие конструкции на динамическую устойчивость при сохранении их несущей способности. Для этого необходимо определить нагрузки, возникающие при взрыве горючих смесей внутри помещений.

Задача по определению величины и характера нагрузок, действующих на ограждающие конструкции при взрывном горении газовоздушных смесей (ГВС) внутри объемов с отверстием, решалась в работах [5–7].

Математическая модель, описывающая динамику сгорания ГВС в объеме с учетом их истечения, основывается на следующих допущениях.

1. После воспламенения взрывоопасной смеси пламя распространяется в виде сферы; все точки поверхности фронта пламени в любой момент времени находятся на одинаковом расстоянии от источника зажигания, т. е. не учитывается влияние потока газа, истекающего из отверстия или нескольких отверстий, на форму пламени, взаимодействие пламени со стенками замкнутого объема, а также на форму распространения фронта пламени.

Фронт пламени приобретает сферическую форму при самопроизвольном распространении в неограниченной невозмущенной среде. Такой вид фронта пламени наблюдается только в начальный момент его распространения при зажигании горючей смеси в замкнутых объемах любой формы. В сферических сосудах фронт распространения пламени при зажигании в центре сохраняет сферическую форму до конца процесса. Подобная картина наблюдается и в объемах, в которых отношение длины к наименьшему размеру их поперечного сечения (ширины или высоты) близко к единице. Предположение о сферической симметрии фронта пламени является обычным для помещений, размеры которых не сильно отличаются друг от друга [8]. Это приближение ограничено начальными стадиями горения, и его точность тем выше, чем меньше избыточное давление.

Помещения, в которых размещаются взрывоопасные производства, имеют форму, близкую к прямоугольной с различным отношением длин сторон. Из проведенных экспериментов видно, что сферическая форма фронта пламени может быть ограничена объемами прямоугольной формы, если меньшая из сторон равна наибольшему геометрическому размеру помещения или составляет не более 1/3 от него. Тогда с достаточной точностью можно принять, что площадь фронта пламени $S_f = 5V_n$ (где V_n — объем помещения).

2. До момента вскрытия отверстия в наружном ограждении повышение давления внутри помещения происходит так же, как и в замкнутом объеме. С момента вскрытия отверстия, наряду с процессом горения ГВС, внутри объема при определении давления учитывается истечение газа через образовавшиеся проемы. Характер процесса истечения газа принимается адиабатическим.

3. Поскольку рассматривается процесс взрывного горения, при котором скорость распространения пламени меньше скорости звука в горючей среде, принимается, что процесс изменения давления на ограждающие конструкции будет квазистатическим, а давление — одинаковым во всех точках помещения. Предположение о независимости давления в помещении от пространственных координат является общепринятым и справедливым при усло-

вии $u_n \varepsilon / c_0 \ll 1$ (т. е. скорость пламени меньше скорости звука), а также при $\alpha / c_0 \ll \beta / (u_n \varepsilon)$ (где u_n — скорость распространения пламени; ε — степень расширения смеси при сгорании; c_0 — объемная концентрация вещества в смеси; α , β — больший и меньший размеры помещения) [7, 8].

4. На основании этих предпосылок, а также экспериментальных результатов [3, 7] рассматривается задача сгорания газа как в сферическом объеме, так и в объеме, отличном от сферического, с наличием вскрываемого отверстия. При этом предполагается, что может иметь место, во-первых, истечение через отверстие в среду с постоянным давлением P_0 сначала только горючей смеси, а затем продуктов сгорания и, во-вторых, процесс горения с учетом одновременного истечения продуктов сгорания и горючей смеси.

5. В работах [5, 10, 11] показано, что выражения, определяющие динамику сгорания газа в замкнутом объеме, могут быть рассмотрены по входящим в них термодинамическим параметрам, в частности по коэффициенту расширения продуктов сгорания ε , а также по основным предположениям относительно теплоемкостей свежего газа γ_u и продуктов сгорания γ_v . Важнейшими параметрами, определяющими динамику сгорания, являются коэффициент расширения и скорость пламени. Отношение теплоемкостей газа и продуктов сгорания γ_u / γ_v оказывает относительно слабое влияние на время сгорания, но существенно влияет на скорость нарастания давления. Поэтому для начальной стадии горения при получении математической модели, описывающей динамику сгорания газа в постоянном объеме с отверстием, без существенной потери точности можно допустить равенство $\gamma_u = \gamma_v$, что позволит упростить зависимости, описывающие динамику сгорания ГВС.

6. Изменение давления в объеме при сгорании газа является функцией доли сгоревшей смеси и скорости выгорания, равной произведению нормальной скорости распространения пламени по горючей среде на площадь ее поверхности. На первом этапе решения поставленной задачи вводится допущение, что фронт пламени после его деформирования сохраняет сферическую форму, а фактор турбулизации остается постоянным в течение взрыва после начала деформирования фронта пламени.

7. Увеличение скорости распространения пламени внутри помещения или в момент разгерметизации проема учитывается с помощью введения коэффициента интенсификации горения α [12, 13]. Опыты по исследованию интенсификации процесса взрывного горения ГВС показали, что на изменение скорости перемещения фронта пламени, помимо присущего ему явления неустойчивости, будут влиять: наличие преград на пути его распростране-

ния и расстояние между ними, степень заполнения объема помещения различными объектами, принудительный воздухообмен, вид горючей смеси [9, 11].

Допустим, что отверстие в наружном ограждении в помещении со взрывоопасным производством закрыто горизонтально лежащей плитой массой m . В тот момент, когда давление в помещении достигнет величины, определяемой выражением $P_u = mg/S + P_0$ (где g — ускорение свободного движения, м/с²; S — площадь поверхности плиты, м²; P_0 — начальное давление, Па). Уравнение движения имеет вид:

$$mx = [P(t) - P_0]S - mg, \quad (1)$$

где x — высота поднятия плиты, м;

$\bar{P}(t)$ — усредненное давление на плиту;

$$\bar{P}(t) = \frac{1}{S} \iint P(x, y, z) dx dy; \quad (2)$$

P — давление в определенной площади поверхности, Па.

Уравнение Бернулли для газа, вытекающего из отверстия, имеет вид:

$$-dL = dE_k + dP/\rho, \quad (3)$$

где L — линейный размер помещения;

E_k — кинетическая энергия расширяющегося газа;

ρ — плотность газа.

Работа, производимая 1 кг газа при адиабатическом расширении, определяется по уравнению

$$-L = E_k + \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} \left[\left(\frac{P_0}{P} \right)^{(\gamma - 1)/\gamma} - 1 \right], \quad (4)$$

где γ — объемная теплоемкость, Дж/(м³·К).

Тогда уравнение движения плиты примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(mgx + \frac{mx^2}{2} \right) + E_k G &= \\ = - \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} \left[\left(\frac{P_0}{P} \right)^{(\gamma - 1)/\gamma} - 1 \right] G, \end{aligned} \quad (5)$$

где G — секундный расход газа.

Оценим, какая часть энергии газа идет на движение плиты:

$$\frac{d}{dt} \left(mgx + \frac{mx^2}{2} \right) = mg\dot{x} + m\ddot{x} = [\bar{P}(t) - P_0] \dot{x} S, \quad (6)$$

где \dot{x} , \ddot{x} — производная и вторая производная от высоты поднятия плиты.

Так как P отличается от P_0 на несколько процентов, то

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{(\gamma - 1)/\gamma} \right] &= \\ = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} \left[1 - \left(1 - \frac{P - P_0}{P} \right)^{(\gamma - 1)/\gamma} \right] &= \\ = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P - P_0}{P} = \frac{P - P_0}{\rho}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тогда отношение той части энергии, которая идет на движение плиты $E_{пл}$, к полной энергии расширяющегося газа можно записать в виде

$$\frac{E_{пл}}{E_k} = \frac{[\bar{P}(t) - P_0] \dot{x} S_{отв} \rho}{(P - P_0) G} \leq \frac{\dot{x}}{\omega}, \quad (8)$$

где ω — средняя скорость истекающего газа, м/с.

Как показывают экспериментальные данные, скорость движения легкосбрасываемой конструкции (ЛСК) значительно меньше скорости истечения газов. Следовательно, на движение ЛСК идет лишь небольшая часть кинетической энергии, поэтому для расчета потока газа из отверстия, закрытого инерционной ЛСК, можно воспользоваться формулами (5)–(7). Только в этом случае площадь отверстия в наружном ограждении помещения будет зависеть от типа, места расположения, размеров и массы ЛСК.

Для того чтобы установить величину и характер изменения давления, возникающего при взрывах в помещениях, закрытых инерционными ЛСК, необходимо решать уравнения (5)–(7) совместно с уравнениями движения ЛСК. Для различных типов инерционных ЛСК эти уравнения будут иметь соответствующий вид:

1) для смещаемых ЛСК:

– представляющих собой свободно опертые плиты, располагаемые в горизонтальном наружном ограждении помещения (рис. 1,а):

$$m(d^2x/(dt^2)) = [P(t) - P_0] ab - mg; \quad (9)$$

– расположенных в вертикальном ограждении помещения (рис. 1,б):

$$m(d^2x/(dt^2)) = [P(t) - P_0] ab; \quad (10)$$

2) для поворотных ЛСК:

– с горизонтальным верхним шарниром (рис. 2,а):

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mg \frac{l}{2} \sin \varphi + [P(t) - P_0] \frac{l^2 b}{2}; \quad (11)$$

– с горизонтальным нижним шарниром (рис. 2,б):

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = mg \frac{l}{2} \sin \varphi + [P(t) - P_0] \frac{l^2 b}{2}; \quad (12)$$

– с боковым вертикальным шарниром (рис. 2,в):

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = [P(t) - P_0] \frac{l^2 b}{2}, \quad (13)$$

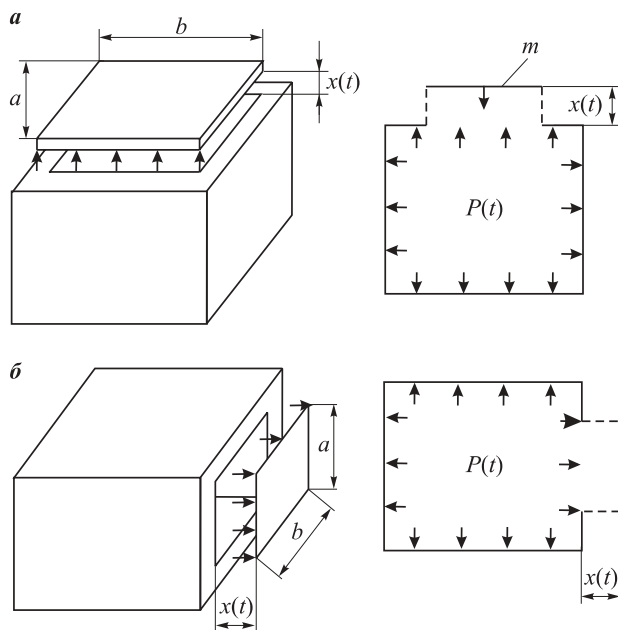


Рис. 1. Расчетные схемы для определения нагрузок на конструкцию при взрыве горючей смеси в объеме, в ограждении которого находятся смещаемые ЛСК: *a* — в горизонтальном ограждении (покрытии); *б* — в вертикальном (стенном) ограждении

где J — момент инерции массы плиты относительно оси вращения;

φ — угол раскрытия поворотных ЛСК;

l — высота поворотного элемента, м.

Чтобы решить уравнения (9)–(13), необходимо знать давление на вскрываемые элементы $\bar{P}(t)$, создаваемое истекающими газами на ЛСК. Это давление в момент вскрытия равно давлению на ограждающие конструкции помещения и падает при дальнейшем вскрытии ЛСК.

В уравнениях (9)–(13) единственным параметром, который зависит от положения ЛСК, является x . При выполнении расчетов могут быть сделаны следующие допущения. Коэффициент истечения принимается постоянным. Площадь отверстия может быть задана следующим образом:

- для смещаемых ЛСК:

$$S_{\text{отв}} = 2(a + b)x, \text{ если } 2(a + b)x < ab;$$

$$S_{\text{отв}} = ab, \text{ если } 2(a + b)x > ab;$$

- для поворотных ЛСК:

$$S_{\text{отв}} = l^2 \sin \varphi + 2bl \sin \frac{\varphi}{2},$$

$$\text{если } l^2 \sin \varphi + 2bl \sin \frac{\varphi}{2} < bl;$$

$$S_{\text{отв}} = bl, \text{ если } l^2 \sin \varphi + 2bl \sin \frac{\varphi}{2} > bl,$$

где a, b — длина и ширина ЛСК, м.

Выполненные эксперименты по оценке влияния инерционных ЛСК на характер и величину изме-

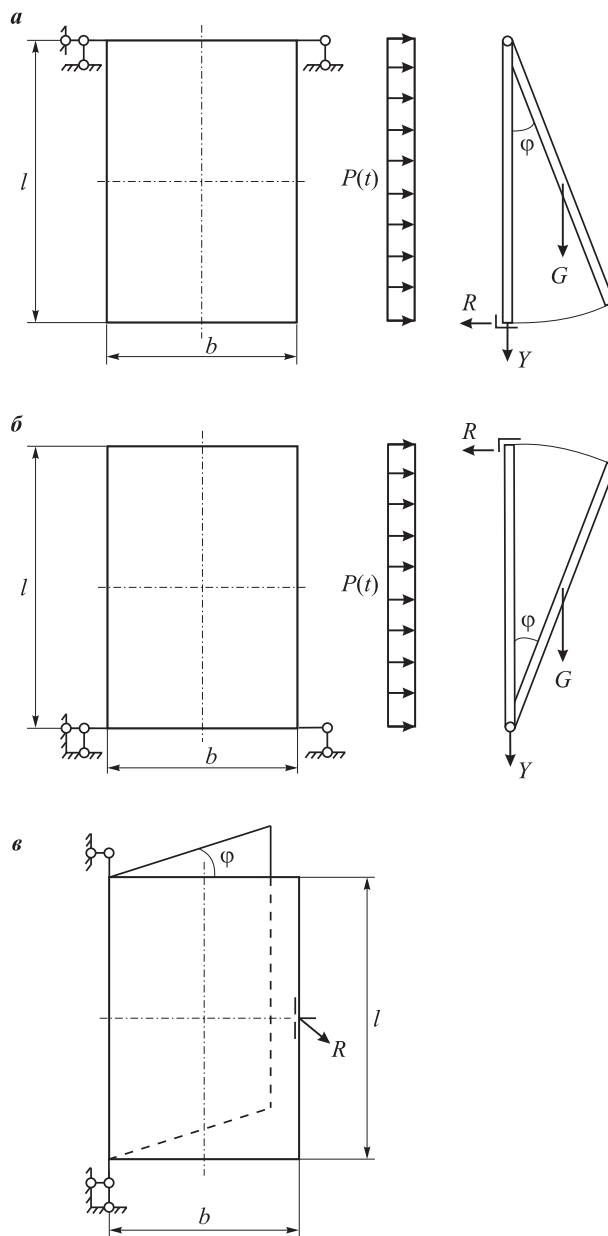


Рис. 2. Расчетные схемы для определения нагрузок при взрыве горючей смеси в объеме, в ограждении которого находятся поворотные ЛСК: *a* — с горизонтальным верхним шарниром; *б* — с горизонтальным нижним шарниром; *в* — с вертикальным шарниром

нения давления на примере смещаемых ЛСК в горизонтальном и вертикальном ограждениях и поворотных ЛСК в вертикальном ограждении опытных объемов (1; 10 и 14 м³) показали, что закон движения ЛСК важно знать только на начальном участке их движения. Так, смещаемые ЛСК оказывают влияние на изменение давления на ограждающие конструкции до момента, пока площадь вскрываемой ЛСК не достигнет площади отверстия в ограждении, т. е. $S_{\text{отв}} \geq ab$, когда $2(a + b)x \geq ab$, а площадь поворотной ЛСК — $S_{\text{отв}} \geq bl$, когда $l^2 \sin \varphi + 2bl \sin (\varphi/2) \geq bl$. В дальнейшем движение ЛСК не оказывает заметного влияния на изменение давления в объеме.

При решении практических задач по определению величины и характера давления, возникающего при взрывном горении ГВС внутри помещений, отверстия которых закрыты инерционными ЛСК (например, для дозвукового режима истечения газа из объема без учета одновременного истечения горючей смеси и продуктов сгорания), уравнения (8), (9) и (13) следует решать совместно с одним из уравнений, характеризующих закон движения ЛСК (9)–(13).

Системы уравнений для определения величины и характера нагрузок на ограждающие конструкции при использовании различных видов инерционных ЛСК можно представить в следующем виде:

- для смещаемых ЛСК, располагаемых в покрытии, при $t = 0, P = P_0, x = 0, R = 0; t = t_{вск}, P = P_{вск}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P_0 \frac{\left(\frac{\rho_u}{\rho_v} - 1\right) \alpha U_H S_f - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt}}{\frac{V_v}{\gamma_v} + \frac{V_u}{\gamma_u}}; \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha U_H \frac{\rho_u}{\rho_v} - \frac{1}{S_f} \frac{V_v}{\gamma_v} \frac{1}{P_0} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= (\bar{P} - P_0) S_{отв}^{эл} / m - g; \\ \frac{dx}{dt} &= \xi; \end{aligned} \right\} (14)$$

- для смещаемых ЛСК, располагаемых в вертикальном ограждении помещения, при $t = 0, P = P_0, x = 0, R = 0; t = t_{вск}, P = P_{вск}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P_0 \frac{\left(\frac{\rho_u}{\rho_v} - 1\right) \alpha U_H S_f - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt}}{\frac{V_v}{\gamma_v} + \frac{V_u}{\gamma_u}}; \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha U_H \frac{\rho_u}{\rho_v} - \frac{1}{S_f} \frac{V_v}{\gamma_v} \frac{1}{P_0} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= (\bar{P} - P_0) S_{отв}^{эл} / m; \\ \frac{dx}{dt} &= \xi; \end{aligned} \right\} (15)$$

- для поворотных ЛСК с горизонтальным верхним шарниром в вертикальном стеновом ограждении при $t = 0, P = P_0, Y = 0, R = 0; t = t_{вск}, P = P_{вск}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P_0 \frac{\left(\frac{\rho_u}{\rho_v} - 1\right) \alpha U_H S_f - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt}}{\frac{V_v}{\gamma_v} + \frac{V_u}{\gamma_u}}; \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha U_H \frac{\rho_u}{\rho_v} - \frac{1}{S_f} \frac{V_v}{\gamma_v} \frac{1}{P_0} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= -\frac{mg}{I} \frac{l}{2} \sin \varphi + (\bar{P} - P_0) \frac{l^2 b}{2I}; \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \xi; \end{aligned} \right\} (16)$$

- для поворотных ЛСК с горизонтальным нижним шарниром при $t = 0, P = P_0, Y = 0, R = 0; t = t_{вск}, P = P_{вск}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P_0 \frac{\left(\frac{\rho_u}{\rho_v} - 1\right) \alpha U_H S_f - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt}}{\frac{V_v}{\gamma_v} + \frac{V_u}{\gamma_u}}; \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha U_H \frac{\rho_u}{\rho_v} - \frac{1}{S_f} \frac{V_v}{\gamma_v} \frac{1}{P_0} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= \frac{mg}{I} \frac{l}{2} \sin \varphi + (\bar{P} - P_0) \frac{l^2 b}{2I}; \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \xi; \end{aligned} \right\} (17)$$

- для поворотных ЛСК с боковым вертикальным шарниром при $t = 0, P = P_0, Y = 0, R = 0; t = t_{вск}, P = P_{вск}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P_0 \frac{\left(\frac{\rho_u}{\rho_v} - 1\right) \alpha U_H S_f - \frac{1}{\rho_u} \frac{dm_v}{dt}}{\frac{V_v}{\gamma_v} + \frac{V_u}{\gamma_u}}; \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha U_H \frac{\rho_u}{\rho_v} - \frac{1}{S_f} \frac{V_v}{\gamma_v} \frac{1}{P_0} \frac{dP}{dt}; \\ \frac{d\xi}{dt} &= (\bar{P} - P_0) \frac{l^2 b}{2I}; \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \xi; \end{aligned} \right\} (18)$$

где ρ_u — плотность горючей смеси;
 ρ_v — плотность продуктов горения;
 U_H — нормальная скорость горения;
 m_v — масса горючей смеси;
 V_v — показатель адиабаты продуктов горения;
 V_u — показатель адиабаты горючей смеси;
 ξ — коэффициент, учитывающий расстояние между преградами;
 \bar{P} — среднее давление;
 $S_{отв}^{эл}$ — площадь проема, через который происходит истечение;
 I — интенсивность истечения горючей смеси;
 $P_{вск}$ — давление вскрытия;
 $t_{вск}$ — время вскрытия.

Системы уравнений (14)–(18) решались методом Рунге–Кутты. Для решения их была составлена программа для ЭВМ. Решение системы осуществлялось последовательно в четыре этапа:

- на первом этапе рассматривался процесс взрывного горения ГВС в замкнутом объеме, т. е. решались уравнения (8) и (9);
- на втором этапе рассматривался процесс взрывного горения и вскрытия отверстия при одновременном истечении из объема холодной смеси, т. е. решались уравнения (8), (9) и одно из уравнений, описывающих движение ЛСК, (9)–(13);

- на третьем этапе рассматривался процесс вскрытия отверстия и истечения из объема как горючей смеси, так и продуктов горения;
- на четвертом этапе рассматривалось истечение из объема помещения сгоревшей смеси при полностью открытых отверстиях в наружном ограждении помещения, т. е. решалось уравнение (8).

Результаты решения приведенных систем уравнений приведены на рис. 3–9. На рис. 3 и 4 представлены графики характера изменения давления на ограждающие конструкции помещений кубической формы объемом 100, 1000 и 5000 м³ при решении системы уравнений (14), когда смещаемые элементы ЛСК расположены в покрытии; на рис. 5 и 6 — при решении системы уравнений (15); на рис. 7 и 8 — при решении системы уравнений (16). На рис. 9 приведен график изменения характера давления взрыва ГВС на ограждающие конструкции помещения кубической формы объемом 100 м³ при решении системы уравнений (18).

Анализ приведенных графических зависимостей показывает, что при взрыве ГВС внутри помещения и вскрытии ЛСК, как правило, независимо от ее вида возникает два пика давления, величина которых определяется давлением, при котором начинают вскрываться элементы ЛСК, и общей площадью открытых отверстий в наружном ограждении. Кроме того, решение приведенных систем уравнений позволяет проанализировать влияние отдельных параметров и их комплекса на величину и характер давлений, возникающих внутри помещений, и установить их оптимальное сочетание для снижения давлений до необходимых безопасных значений.

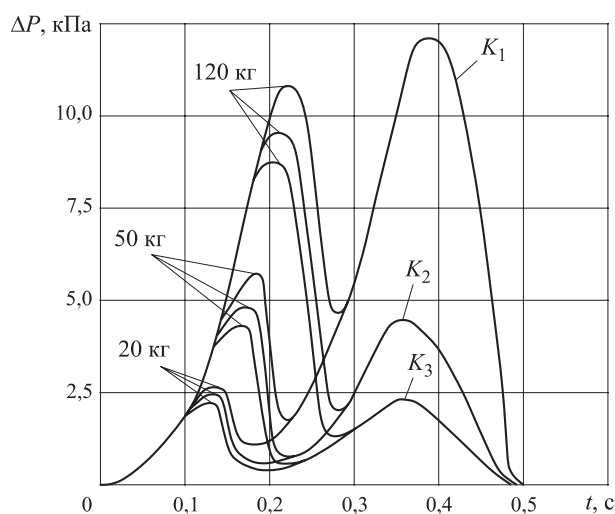


Рис. 3. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м³ при взрывном горении ГВС и вскрытии ЛСК с массой 1 м² 20, 50 и 120 кг в покрытии по уравнениям (14) при $K_1 = 0,139$, $K_2 = 0,232$, $K_3 = 0,326$ ($K_1 = S_{отв1}/V^{2/3}$, $K_2 = S_{отв2}/V^{2/3}$, $K_3 = S_{отв3}/V^{2/3}$), $U_H = 0,45$ м/с, $\rho_u/\rho_v = 7,5$; $\alpha = 2$

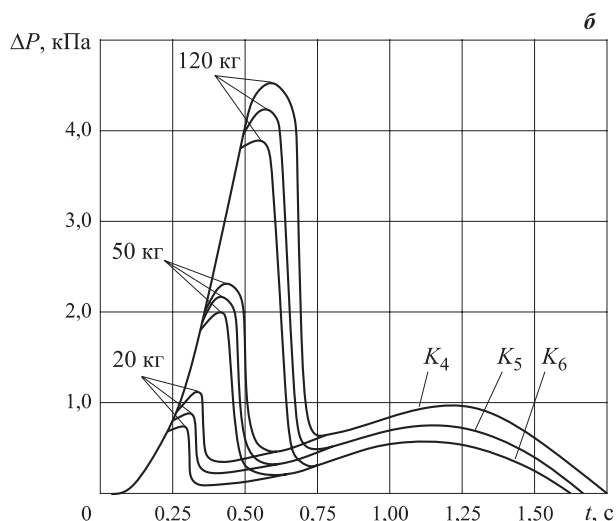
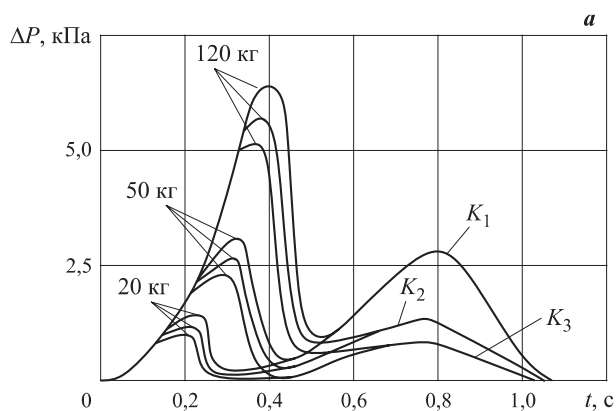


Рис. 4. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 1000 м³ (а) и 5000 м³ (б) при взрывном горении ГВС и вскрытии ЛСК в покрытии с массой 1 м² 20, 50 и 120 кг по уравнениям (14) при $K_1 = 0,301$, $K_2 = 0,502$, $K_3 = 0,703$, $K_4 = 0,516$, $K_5 = 0,86$, $K_6 = 1,2$, $U_H = 0,45$ м/с, $\rho_u/\rho_v = 7,5$, $\alpha = 2$

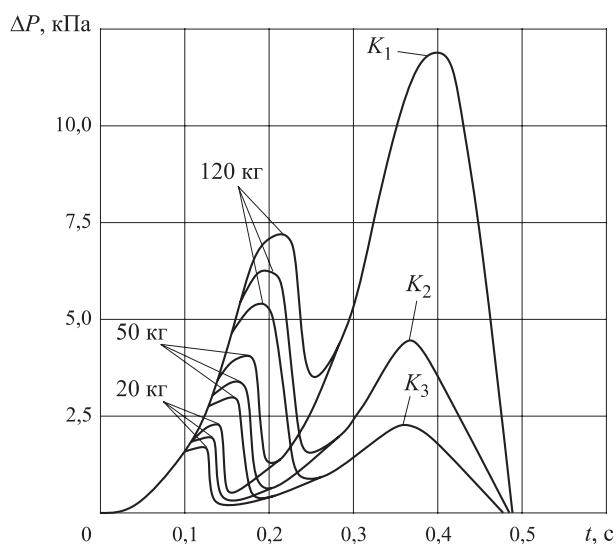


Рис. 5. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м³ при взрывном горении ГВС и вскрытии ЛСК с массой 1 м² 20, 50 и 120 кг в стеновом ограждении по уравнениям (15) при $K_1 = 0,139$, $K_2 = 0,232$, $K_3 = 0,326$; $U_H = 0,45$ м/с; $\rho_u/\rho_v = 7,5$; $\alpha = 2$

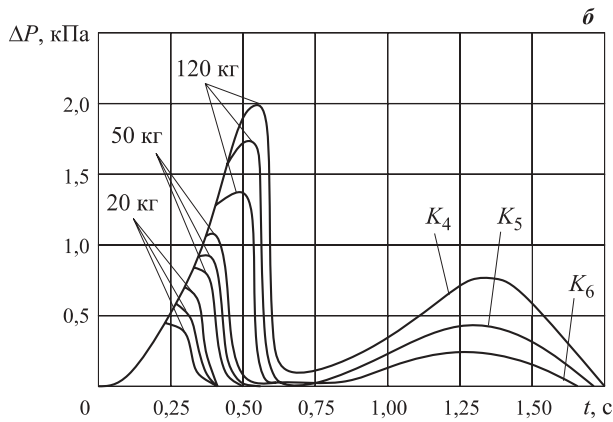
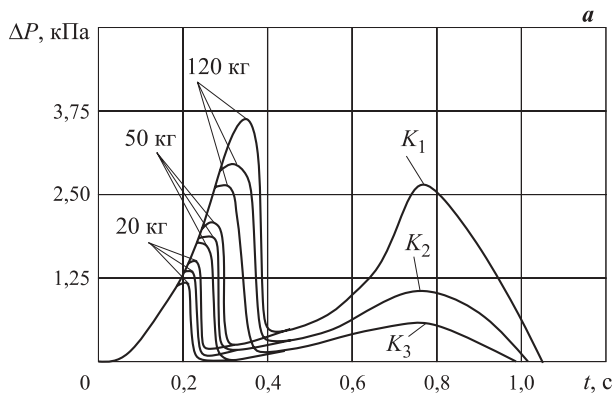


Рис. 6. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 1000 м^3 (а) и 5000 м^3 (б) при взрывном горении ГВС и вскрытии ЛСК с массой 1 м^2 20, 50 и 120 кг в вертикальном стеновом ограждении по уравнениям (15) при $K_1 = 0,301$, $K_2 = 0,502$, $K_3 = 0,703$, $K_4 = 0,516$, $K_5 = 0,86$, $K_6 = 1,2$, $U_{\text{н}} = 0,45 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{ш}}/\rho_{\text{в}} = 7,5$, $\alpha = 2$

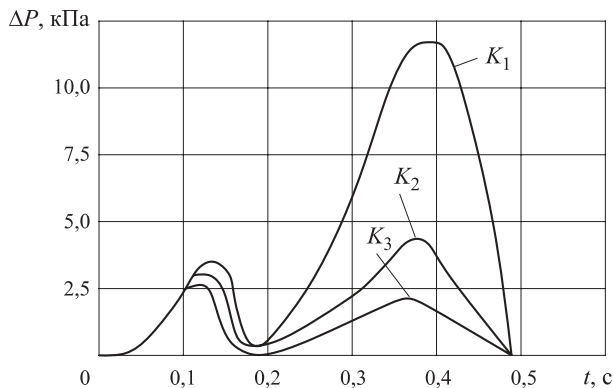


Рис. 7. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м^3 при взрывном горении ГВС и вскрытии поворотных ЛСК с массой 1 м^2 20 кг по уравнениям (16) при $K_1 = 0,139$, $K_2 = 0,232$, $K_3 = 0,326$, $U_{\text{н}} = 0,45 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{ш}}/\rho_{\text{в}} = 7,5$, $\alpha = 2$

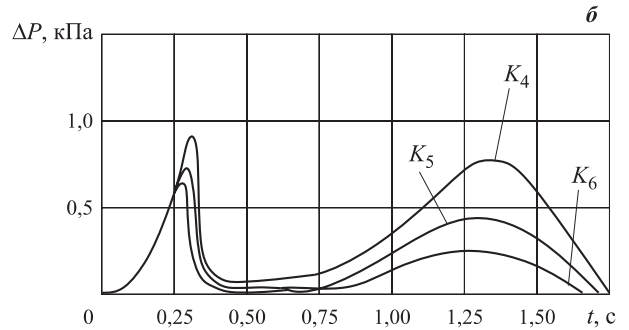
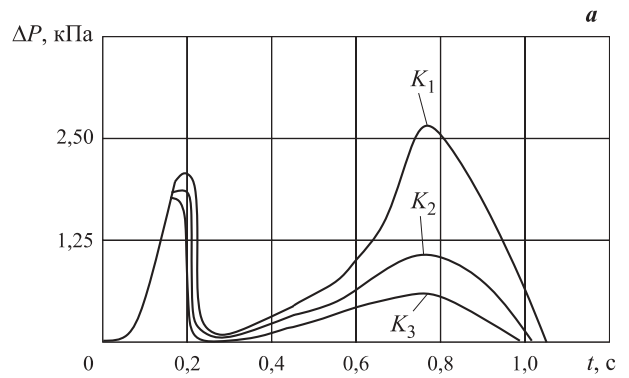


Рис. 8. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 1000 м^3 (а) и 5000 м^3 (б) при взрывном горении ГВС и вскрытии поворотных ЛСК с массой 1 м^2 20 кг с горизонтальным верхним шарниром в стеновом ограждении по уравнениям (16) при $K_1 = 0,301$, $K_2 = 0,502$, $K_3 = 0,703$, $K_4 = 0,516$, $K_5 = 0,86$, $K_6 = 1,2$, $U_{\text{н}} = 0,45 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{ш}}/\rho_{\text{в}} = 7,5$, $\alpha = 2$

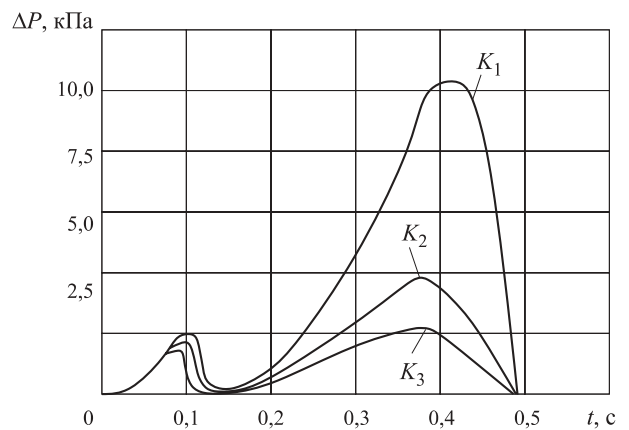


Рис. 9. Характер изменения давления ΔP на ограждающие конструкции помещения объемом 100 м^3 при взрывном горении ГВС и вскрытии поворотных ЛСК с массой 1 м^2 20 кг в стеновом ограждении с вертикальным шарниром по уравнениям (18) при $K_1 = 0,139$, $K_2 = 0,232$, $K_3 = 0,326$, $U_{\text{н}} = 0,45 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{ш}}/\rho_{\text{в}} = 7,5$, $\alpha = 2$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин В. С., Бабушок В. И. О начальной стадии горения газа в замкнутом объеме // Физика горения и взрыва. — 1977. — Т. 13, № 1. — С. 24–29.
2. Бабкин В. С., Бабушок В. И., Михайлова Л. Г. Влияние термодинамических и кинетических параметров на динамику сгорания газа в сферическом сосуде // Физика горения и взрыва. — 1979. — Т. 15, № 6. — С. 14–20.

3. Bradley D., Mitcheson A. The venting of gaseous explosions in spherical vessels. I — Theory // Combustion and Flame. — 1978. — Vol. 32. — P. 221–236.
4. Bradley D., Mitcheson A. Mathematical solutions for explosions in spherical vessels // Combustion and Flame. — 1976. — Vol. 26. — P. 201–217.
5. Беляев В. В., Орлов Г. Г., Расторгуев С. Б. Определение давления в объеме с учетом постепенного вскрытия ЛСК при взрывном горении ГВС // Тезисы II Всесоюзной научной конференции МИСиС. — М., 1983. — 114 с.
6. Козарко С. М. Исследование давления в торце трубы при нестационарном быстром горении // Журнал технической физики. — 1958. — Т. 28, вып. 9. — С. 2041–2045.
7. Козарко С. М. Детонация метановоздушных смесей и пределы детонации углеводородно-воздушных смесей в трубе большого диаметра // Журнал технической физики. — 1958. — Т. 28, вып. 9. — С. 2072–2083.
8. Маркштейн Дж. Г. Нестационарное распространение пламени. — М. : Мир, 1968. — 437 с.
9. 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.
10. Пилюгин Л. П. Нагрузки, возникающие при взрывном горении ГВС в помещениях взрывоопасных производств // Взрывобезопасность в строительстве : сб. трудов МИСИ им. В. В. Куйбышева. — М., 1983. — С. 77–87.
11. Пилюгин Л. П. Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов — М. : Пожнаука, 2010. — 379 с.
12. Фролов С. М. Ускорение перехода горения в детонацию в газах: от К. И. Щелкина до наших дней // Физика горения и взрыва. — 2012. — Т. 48, № 3. — С. 13–24.
13. Фролов С. М. Пределы газовой детонации и перехода горения в детонацию: возможно ли моделирование? // Горение и взрыв / Под общ. ред. С. М. Фролова. — М. : Торус Пресс, 2013. — Вып. 6. — С. 339–341.

Материал поступил в редакцию 5 января 2015 г.

English

DETERMINATION OF THE VALUE AND CHARACTER OF THE EXPOSIVE LOADS IN CASE OF USING OF THE INERTIAL SAFETY CONSTRUCTIONS

ORLOV G. G., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

KOROLCHENKO A. Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

It is shown that solving of the practical problems of protection of industrial buildings and constructions requires to the same extent to choose correctly the size and parameters of safety constructions in order to ensure decrease of arising loads up to the safe values and to calculate the bearing structures on dynamic stability while retaining their carrying capacity, and for this purpose it is necessary to define loadings arising in case of explosion of gas mixtures inside premises. Assumption which become the basis for mathematical model describing dynamics of flammable mixtures combustion in a volume taking into account their expiration are given. Design schemes for definition of loads on constructions in case of explosion of flammable mixtures in different volumes with various types of blast-relief panels (BRP) are given. Systems of equations determining the value and character of loads on enclosing structures using different types of inertial BRP are given. The program for solution of these systems on computer is made.

Keywords: explosive loads; safety constructions; flammable gas-, steam- and dust-air mixtures; stability of bearing structures; explosion protection.

REFERENCES

1. Babkin V. S., Babushok V. I. O nachalnoy stadii goreniya gaza v zamknutom obyeme [Initial stage of gas combustion in a closed volume]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1977, vol. 13, no. 1, pp. 24–29.
2. Babkin V. S., Babushok V. I., Mikhailova L. G. Vliyaniye termodinamicheskikh i kineticheskikh parametrov na dinamiku sgoraniya gaza v sfericheskom sosude [Effect of thermodynamic and kinetic parameters on gas-combustion dynamics in a spherical vessel]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1979, vol. 15, no. 6, pp. 14–20.
3. Bradley D., Mitcheson A. The venting of gaseous explosions in spherical vessels. I—Theory. *Combustion and Flame*, 1978, vol. 32, pp. 221–236.
4. Bradley D., Mitcheson A. Mathematical solutions for explosions in spherical vessels. *Combustion and Flame*, 1976, vol. 26, pp. 201–217.
5. Belyaev V. V., Orlov G. G., Rastorguev S. B. Opredeleniye davleniya v obyeme s uchetom postepenogo vskrytiya LSK pri vzryvnom goreni GVS [Determination of pressure in a volume taking into account gradual opening of BRP during explosive burning of gas-air mixture]. *Tezisy II Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii MISiS* [Abstracts of II All-Union Scientific Conference of Moscow Institute for Steel and Alloys]. Moscow, 1983. 114 p.
6. Kogarko S. M. Issledovaniye davleniya v tortse trubyy pri nestatsionarnom bystrom goreni [Research of pressure in a pipe bearing face in case of non-stationary fast burning]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 1958, vol. 28, issue 9, pp. 2041–2045.
7. Kogarko S. M. Detonatsiya metanovozdushnykh smesey i predely detonatsii uglevodородно-vozdushnykh smesey v trube bolshogo diametra [Detonation of methane-air mixtures and detonation limits of hydrocarbon-air mixtures in a pipe of big diameter]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 1958, vol. 28, issue 9, pp. 2072–2083.
8. Markstein J. G. *Nestatsionarnoye rasprostraneniye plameni* [Nonsteady flame propagation]. Moscow, Mir Publ., 1968. 437 p.
9. Molkov V. V., Nekrasov V. P. Dinamika sgoraniya gaza v postoyannom obyeme pri nalichii istechniya [Dynamics of gas combustion in a constant volume in the presence of exhaust]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1981, vol. 17, no. 4, pp. 17–24.
10. Pilyugin L. P. Nagruzki, vznikayushchiye pri vzryvnom goreni GVS v pomeshcheniyakh vzryvopasnykh proizvodstv [Loadings arising during explosive burning of gas-air mixture in explosive production premises]. *Vzryvbezopasnost v stroitelstve: sb. trudov MISI im. V. V. Kuybysheva* [Explosion safety in construction. Proceedings of Moscow Construction Institute named after V. V. Kuibyshev]. Moscow, 1983, pp. 77–87.
11. Pilyugin L. P. *Prognozirovaniye posledstviy vnutrennikh aviarynykh vzryvov* [Prognostication of consequences of internal emergency explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2010. 379 p.
12. Frolov S. M. Acceleration of the deflagration-to-detonation transition in gases: From Shchelkin to our days. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 258–268. doi: 10.1134/S0010508212030021.
13. Frolov S. M. (ed.). *Predely gazovoy detonatsii i perekhoda goreniya v detonatsiyu: vozmozhno li modelirovaniye?* [Limits of gas detonation and transition of burning into detonation: whether modeling is possible?]. *Goreniye i vzryv* [Combustion and Explosion]. Moscow, Torus Press Publ., 2013, issue 6, pp. 339–341.

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: krl39@ya.ru)

Д. П. ГЕТАЛО, инженер по пожарной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: dgetalo@mail.ru)

УДК 614.841.332;699.812

ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ ШТОРЫ (ОБЗОР)

Рассмотрен новый тип строительных конструкций — противопожарные шторы, которые предназначены для защиты от теплового излучения пожара, распространения дыма и других опасных факторов. Показано, что такие конструкции могут быть использованы в качестве оптимального решения для снижения пожарной опасности многих типов зданий. Представлены их свойства, конструкции и особенности применения.

Ключевые слова: противопожарные конструкции; противопожарные занавесы, шторы и экраны; тепловое излучение пожара; распространение дыма; пожарная безопасность; область применения; преимущества.

Введение

В Федеральном законе от 22.07.2008 г. № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” установлены следующие виды противопожарных преград:

- противопожарные стены;
- противопожарные перегородки;
- противопожарные перекрытия;
- противопожарные разрывы;
- *противопожарные занавесы, шторы и экраны;*
- противопожарные водяные завесы;
- противопожарные минерализованные полосы.

В настоящей работе мы рассмотрим конструкцию, достоинства и особенности применения противопожарных штор — одного из инновационных видов строительных конструкций, применяемых при проектировании и строительстве современных зданий. В современной научной, нормативной и нормативно-технической литературе под термином “противопожарные шторы” понимаются конструкции, препятствующие распространению пожара по зданию и его опасных факторов, в том числе огнезащитные шторы, дымозащитные шторы, огнедымозащитные шторы и т. д. Под этими терминами при всем их разнообразии мы будем понимать шторы, которые препятствуют распространению пожара. В случае возникновения пожара с помощью, например, огнедымозащитных штор можно локализовать очаг возгорания, предотвратить распространение огня, дыма и теплового излучения и тем самым дать возможность успешно провести эвакуацию людей и снизить возможный ущерб.

Выполняя функцию противопожарной преграды, шторы только при необходимости (а именно при возникновении пожара) отсекают отдельные объемы и пути эвакуации от общего пространства здания. Например, противопожарные шторы со степенью защиты EI 60 (или EI 120, EI 180) не позволяют пожару распространяться в соседние помещения.

Противопожарные шторы являются сравнительно новым видом защиты от пожара. Они могут применяться не только при проектировании и строительстве новых сооружений, но и при реконструкции уже эксплуатируемых зданий. Такими средствами противопожарной защиты могут оборудоваться производственные и складские помещения, вокзалы, театры, музеи, торговые центры, крытые парковки автотранспорта и автозаправочные станции, подземные сооружения, гостиницы и офисные здания.

Противопожарные шторы могут устанавливаться на воротные и лифтовые проемы, на окна и в проемы высотой до 8 м и шириной до 40 м, что достигается за счет применения валов с двумя электродвигателями. Особенно эффективно применение противопожарных штор для разделения больших пространств и объемов любой конфигурации на противопожарные отсеки. Это не приводит к большим потерям с точки зрения дизайна помещений и не сокращает их полезный объем. Возможно также применение штор на фасадах соседних строений при их близком расположении друг к другу. В подобных случаях перекрытие световых проемов противопожарными шторами может препятствовать переброске пожара на соседнее здание.

Дымозащитные противопожарные шторы из текстильных материалов являются инновационным решением в сфере обеспечения противопожарной защиты зданий. Они выполняются в разных модификациях. Их преимуществом является то, что для их установки не требуется пересмотр архитектурного проекта здания, они не уменьшают полезную площадь и могут применяться в самых различных помещениях. Их можно использовать в домах престарелых, торговых центрах, отелях, детских учреждениях, аэропортах, музеях, на объектах пищевой и автомобильной промышленности, в подземных гаражах и жилых зданиях.

Новаторские технологии и вновь создаваемые конструкции позволяют получать все более эффективные средства пожарной безопасности. Противопожарные шторы становятся популярны в строительстве благодаря их основным качествам: практичности, эстетичному виду и высокой эффективности.

Настоящая работа посвящена конструкциям огнезащитных преград, находящимся как в эксплуатации, так и в стадии разработки.

1. Конструкция противопожарных штор

Конструктивное исполнение противопожарных штор показано на рис. 1.

Рулонные противопожарные шторы представляют собой короб, внутри которого находится намотанное на вал полотно шторы. Внутри вала размещается (при необходимости) электропривод. В комплект автоматических противопожарных штор входит панель управления приводом. Управление автоматикой возможно как с кнопочной панели, так и от централизованной системы пожарной сигнализации.

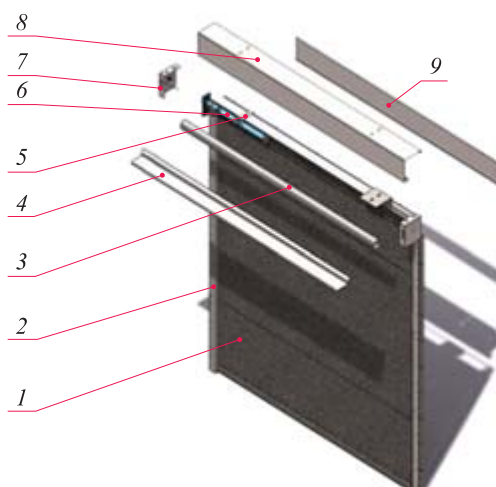


Рис. 1. Пример конструктивного исполнения противопожарных штор с управлением электронной автоматической системой: 1 — полотно; 2 — боковая шина; 3 — вал; 4 — направляющая полотна; 5 — монтажный элемент (пластина или уголок); 6 — внутривальный двигатель; 7 — боковая крышка; 8 — кожух; 9 — задняя крышка

Основным элементом противопожарной шторы является полотно, изготавливаемое из тонкого металла, кремнеземной или стеклянной ткани. Кремнеземная ткань проходит предварительную термообработку с целью максимального уменьшения ее термусадки в случае возникновения пожара. Она имеет термостойкость до 1100 °С.

Полотно шторы, намотанное на вал, остается незаметным до возникновения чрезвычайной ситуации. Эта особенность зачастую является важным практическим и эстетическим преимуществом по сравнению с противопожарными (откатными или распашными) воротами.

Для натяжения полотна противопожарной шторы и плотного прилегания ее к полу после опускания в нижней части полотна предусмотрена профильная планка, которая при поднятом положении шторы запирает верхний короб.

В зависимости от размеров полотна шторы и, соответственно, ее массы должен выбираться тип электропривода, используемого для опускания штор в случае возникновения пожара. Противопожарная штора больших размеров может быть оборудована двумя электроприводами. Необходимость установки второго привода рассчитывается отдельно для каждого случая применения противопожарных штор (например, шторы длиннее 10 м при высоте проема более 4 м).

В конструкции противопожарной шторы применяются металлические элементы: короб из оцинкованного стального листа с установленным в нем валом с электродвигателем и полотном шторы, нижняя планка, боковые направляющие и контрольное оборудование.

Направляющие шины — конструкции из специальных гнутых стальных профилей, предназначенных для обеспечения равномерного опускания полотна шторы и его удержания в этом положении, а также для герметизации проема.

Цветовое оформление облицовки и металлических корпусных элементов конструкций штор может быть выбрано проектировщиком в соответствии с требованиями дизайна помещения.

В условиях пожара в зданиях противопожарная преграда подвергается одностороннему огневому воздействию. Согласно действующим в России нормативным документам по пожарной безопасности проектирование зданий и сооружений осуществляется исходя из стандартного температурного режима пожара, который характеризуется следующей эмпирической формулой:

$$T_f = T_0 + 345 \lg(8t + 1), \quad (1)$$

где T_f — температура пламени, °С;
 T_0 — начальная температура, °С;
 t — время, мин.

В современных условиях целесообразность внедрения новых технических решений определяется экономической *эффективностью* и *технической необходимостью*. Техническая необходимость обусловлена отсутствием у существующих конструкций требуемых характеристик. Экономическая эффективность заключается в снижении затрат на реализацию нового технического решения по сравнению с существующими.

Исходя из критерия, получившего название критерия приведенных затрат, применение штор целесообразно при выполнении следующего условия:

$$E Z_6 + P_{n1} S_1 [(U_1 + U_2)(1 - P_6) + U_1 P_6] + P_{n2} S_2 [(U_1 + U_2)(1 - P_6) + U_2 P_6] + \mathcal{E}_6 > E Z_n + P_{n1} S_1 [(U_1 + U_2)(1 - P_n) + U_1 P_n] + P_{n2} S_2 [(U_1 + U_2)(1 - P_n) + U_2 P_n] + \mathcal{E}_n, \quad (2)$$

где Z_6, Z_n — затраты на устройство соответственно базовой и новой конструкций;

P_{n1}, P_{n2} — вероятность пожара в 1-м и 2-м отсеках площадью соответственно S_1 и S_2 ;

U_1, U_2 — материальные потери при пожаре в 1-м и 2-м отсеках;

P_6, P_n — надежность соответственно базовой и новой конструкций;

$\mathcal{E}_6, \mathcal{E}_n$ — затраты на эксплуатацию штор соответственно базовой и новой конструкций;

E — коэффициент эффективности капиталовложений.

Из выражения (2) видно, что повышение экономической эффективности конструкций противопожарной шторы в значительной степени обеспечивается уменьшением следующих показателей:

- материальных потерь при пожаре;
- стоимости конструкции;
- затрат на устройство и эксплуатацию конструкции.

2. Преимущества противопожарных штор

До сих пор активно применяющиеся в России водяные завесы оказывают значительное разрушающее воздействие на конструкции, отделку и содержимое здания, что приводит к ущербу, сопоставимому с ущербом, вызванным воздействием повышенных температур при пожаре. Это обусловлено большим расходом воды, составляющим до 1 л/с на 1 м ширины проема, и лишь незначительная часть ($\approx 10\%$) этой воды испаряется. В связи с этим было найдено альтернативное водяным завесам техническое решение — противопожарные шторы.

Первые конструкции противопожарных штор появились в Европе в 70-х годах прошлого века и продолжают совершенствоваться сегодня. Бесспорными лидерами в их разработке и производстве являются компании “Stöbich Brandschutz GmbH” (Германия)

и “Coopers Fire” Ltd (Великобритания), чья продукция присутствует и на российском рынке. Данной проблемой занимаются также ученые и инженеры Франции, США, Японии и Китая. На сегодняшний день там разработаны различные конструкции штор, получившие широкое применение не только на внутреннем рынке этих стран, но и за их пределами.

В России противопожарные шторы являются новым техническим решением. Такие конструкции начали разрабатываться лишь в начале 2000-х годов и носили объектно-ориентированный характер. По этой причине количество организаций, занимающихся разработкой и производством противопожарных штор, до сих пор невелико, а технический уровень созданных ими конструкций не позволяет им конкурировать с зарубежными аналогами.

Противопожарные шторы по сравнению с другими огнезащитными конструкциями имеют следующие преимущества:

- технические возможности, которые нельзя реализовать с помощью обычных огнезащитных ворот (большие размеры, направление перекрытия проема и замыкание по уровню пола);
- соответствие архитектурным требованиям, внешний вид, не бросающаяся в глаза огнезащита;
- малая площадь, требуемая под монтаж (250 мм сверху и 100 мм по бокам);
- низкие требования к качеству стен (из-за незначительных сил деформации, возникающих в преграде при пожаре, стены не подвергаются большой нагрузке);
- экономическая выгода от их применения в сравнении с рулонными огнезащитными воротами;
- различные возможные варианты монтажа (на стену, к потолку, на фасад);
- небольшая масса и простота обслуживания (масса 1 м примерно 30 кг; использование сегментных конструкций для удобства встраивания).

Известен способ формирования противопожарных преград большой ширины путем установки нескольких конструкций противопожарных штор со взаимным перекрытием полотен, предотвращающим проникновение опасных факторов пожара за пределы противопожарной преграды.

В горизонтальных шторах, устанавливаемых в проемах перекрытий, перевод рабочего полотна из одного положения в другое осуществляется с помощью электродвигателя. При этом отсекающая шина фиксирована, а разворачивание рабочего полотна осуществляется как вращательным, так и поступательным движением вала, который имеет плавающее позиционирование.

Направление перекрытия проемов может быть как вертикальным, так и горизонтальным. Возмож-

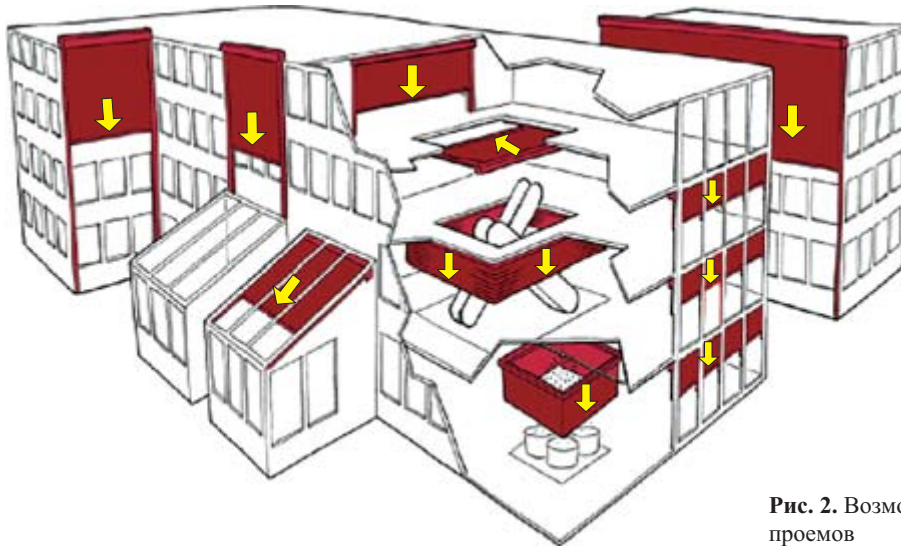


Рис. 2. Возможные направления перекрытия проемов

ные направления перекрытия проемов противопожарными шторами показаны на рис. 2.

Возможные варианты применения систем противопожарных штор иллюстрируются на рис. 3.

Противопожарные шторы используются:

- для ограждения локальных оконных и дверных проемов, закрытых стандартными окнами и дверями из неогнестойких материалов (пластико-

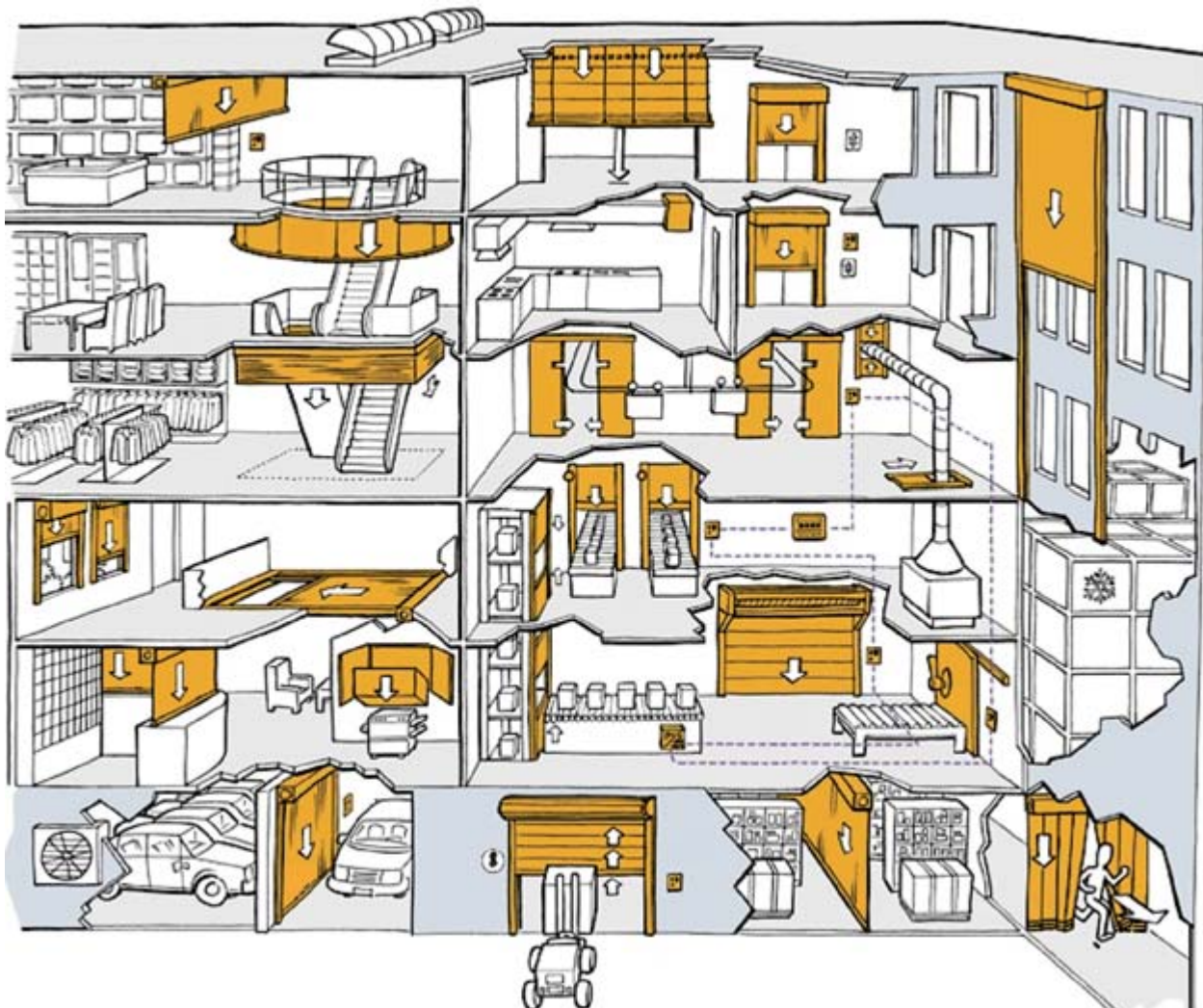


Рис. 3. Возможные варианты применения противопожарных штор



Рис. 4. Варианты расположения противопожарных штор с крестообразным (а), полигональным (б) и Т-образным (в) стыком полотен

вые, деревянные, алюминиевые, комбинированные окна, деревянные, стеклянные, металлические двери и двери из материалов на основе продуктов переработки древесины);

- для защиты от огня и продуктов сгорания эвакуационных выходов — лестничных проемов, атриумов, эскалаторов, причем возможно сочленение полотен с высокой герметичностью под углом и создание автономной защиты вне зависимости от наличия жестких опор;
- для зонирования отдельных участков площадей офисов, паркингов;
- для ограждения от огня и дыма значительных по площади участков кинотеатров, торговых центров, концертных залов;
- для блокирования отдельных участков конвейерных линий в масштабных производствах;
- для блокирования распространения огня и дыма между этажами (горизонтальное исполнение);
- для локализации пожара и дыма в отдельных пролетах здания при ограждении части фасада снаружи;
- для защиты отдельно стоящего дорогостоящего или опасного (в случае возгорания) оборудования.

Специальные противопожарные шторы предназначены для локализации огня и дыма с целью быстрой и удобной эвакуации людей из мест их большого скопления.

Рекомендуемые варианты расположения огнезащитных штор в зависимости от места возникновения пожара в здании показаны на рис. 4.

2.1. Припотолочные противопожарные шторы

Наличие проемов в ступенчато расположенных крышах строений, не имеющих требуемой огнестой-

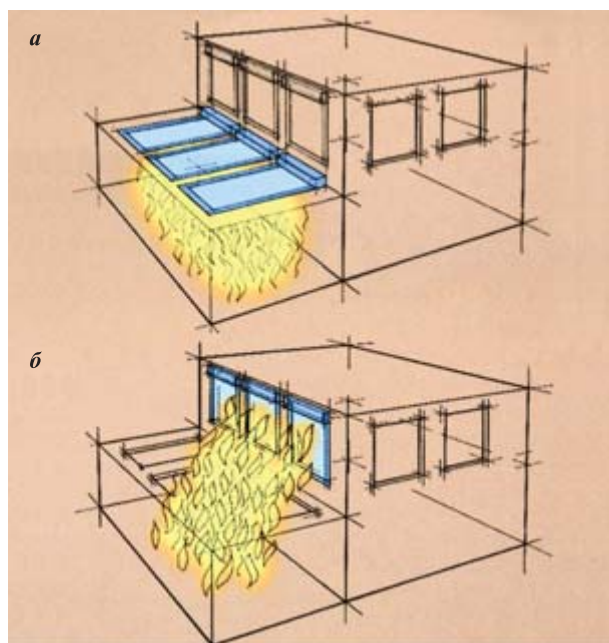


Рис. 5. Варианты расположения противопожарных штор в потолочных проемах с горизонтальным перемещением полотна (а) и в стенных проемах с вертикальным перемещением полотна (б)

кости и расположенных в 5-метровой зоне от вертикальной стены, требует применения средств огнезащиты в виде противопожарных штор (рис. 5).

Преимуществами подобной системы являются:

- огнезащита строительных конструкций, находящихся в зоне потолочных проемов;
- отсутствие необходимости в использовании огнестойкого остекления;
- возможность монтажа на потолке или стене;
- возможность защиты от переброски пожара через световые купола, встроенные со стороны крыши, в течение 30 мин.

Примеры использования противопожарных штор в потолочных проемах показаны на рис. 6.

2.2. Фасадные противопожарные шторы

Противопожарное расстояние между зданиями указано в строительных нормах и составляет 3–5 м. Оно может быть уменьшено за счет применения ог-



Рис. 6. Примеры использования огнезащитных штор в потолочных проемах



Рис. 7. Использование фасадных штор в зданиях торговых центров

незащитных штор в проемах здания. Перекрытие световых проемов должно быть соответствующим (не менее 3–5 м) и препятствовать распространению пожара за пределы горящего здания. Это требование становится особенно актуальным при строительстве автозаправочных станций в черте городов, что в случае возникновения на них пожара может привести к его распространению на соседние сооружения.

Достоинствами фасадных противопожарных штор является:

- хорошая встраиваемость в фасады;
- идеальное техническое решение при реставрации и ремонте старых строений;
- отсутствие ограничений в использовании существующих помещений;
- возможность применения открывающихся окон;
- допустимость использования неогнестойкого остекления.

Примеры использования фасадных огнестойких штор в зданиях показаны на рис. 7.

Натуральные огневые испытания показали условия переброски пожара через оконные проемы по внешней стене с этажа на этаж. В шестизэтажном жилом доме был инсценирован пожар в комнате с пожарной нагрузкой 600 МДж/м² в виде штабеля древесины. Для выявления условий распространения пожара через окно в огнестойкой наружной стене одно окно этажом выше было защищено огне-

стойкой преградой, а параллельное ему окно было оставлено незащищенным. В процессе испытаний было выявлено, что в вышерасположенном окне, закрытом огнезащитной преградой, распространение пожара было надежно предотвращено. В то же время в окне, не имевшем защиты, на 28-й минуте испытания загорелись оконные шторы.

2.3. Защита конвейерных проемов

Во многих производственных помещениях используются различные типы конвейеров (ленточные, роликовые, цепные и др.), проходящие через проемы в стенах и потолках, которые в свою очередь проектируются огнестойкими и разделяют помещения на пожарные отсеки (далее — проходящие конвейеры).

Для защиты подобных проемов с проходящими конвейерными системами могут быть применены специальные огнезащитные преграды, которые должны иметь:

- механический и электрический контакт с конвейером;
- автоматическую систему управления;
- систему аварийного энергообеспечения;
- собственный привод;
- герметичность (отсутствие зазоров);
- возможность и допустимость периодического осмотра.

При проектировании преграды конвейерной линии необходимо учитывать ряд условий:

- огнезащитная преграда, постоянно находящаяся в открытом состоянии, должна быть снабжена удерживающим устройством;
- если преграду конвейерной линии после ее опускания не представляется возможным привести в исходное положение, то в этом случае она должна быть снабжена моторным приводом;
- должно быть обеспечено беспрепятственное опускание огнезащитной преграды, при этом должна быть исключена возможность нахождения непосредственно под шибером транспортируемых грузов или других предметов.

В настоящее время разрабатывается беззазорная конвейерная система, которая может применяться для любых типов конвейеров: ленточных, роликовых, цепных, гусеничных, цепных, в том числе для транспортировки газет и бумаги. Пример такой системы показан на рис. 8.

Шибер и конвейер в подобной системе обеспечивают плотное перекрытие: зазоры при возгорании заполняются огнезащитным вспучивающимся материалом. Опускание шибера может осуществляться без применения внешней энергии, а его возврат в исходное положение — посредством мотора или вручную. Блок управления предназначен для



Рис. 8. Общий вид беззорной системы для подвесных конвейеров

управления сигналами на срабатывание, осуществления взаимодействия с конвейером, контроля перекрываемого пространства.

Конструкция преграды конвейерных проемов должна обеспечивать герметизацию проемов ман-



Рис. 9. Преграды для проходящих роликовых конвейеров в открытом (а) и закрытом (б) состоянии

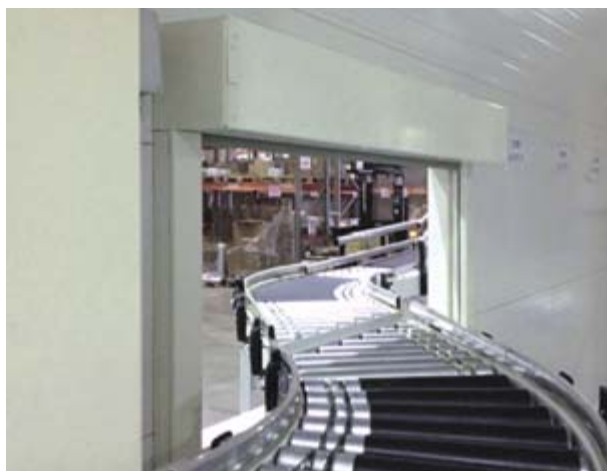


Рис. 10. Преграды для конвейеров, транспортирующих багаж

жетами из огнезащитных материалов, что не удается достичь иными способами, при использовании других конструкций, например дверей или ворот. Подобная герметизация необходима для предотвращения распространения пожара в соседнее помещение, а также для отвода тепла от металлических частей конвейера, температура которых может превышать допустимую (180 °С) на противоположной от горения стороне.

Примеры преград для проемов проходящих конвейеров показаны на рис. 9.

Вид преграды для проходящего ленточного конвейера, транспортирующего багаж, представлен на рис. 10.

3. Технические характеристики противопожарных штор

Современные огнезащитные шторы управляются электронной автоматической системой, которая присоединена к центральной пожарной сигнализации, дымовым извещателям и другим системам оповещения и защиты (табл. 1). В то же время производители предлагают различные виды приводов, использующих и не использующих электроэнергию для опускания штор в случае пожара.

Система привода шторы, основанная на использовании силы тяжести, обеспечивает опускание шторы вне зависимости от наличия электроэнергии в сети, что является дополнительным преимуществом при защите персонала зданий.

4. Материалы для противопожарных штор

В настоящее время для противопожарных штор применяются тонкая эластичная сталь и кремнеземный материал, обеспечивающие предел огнестойкости IE60. Основу полотна противопожарных штор составляют кремнеземные ткани, которые после

Таблица 1. Технические характеристики выпускаемых в настоящее время противопожарных штор

Параметр	Значение параметра
<i>Перекрываемый проем</i>	
Габаритные размеры, м:	
ширина	От 0,8 до 40
высота	От 0,5 до 8
<i>Верхний короб и вертикальные направляющие</i>	
Габаритные размеры короба, мм:	
ширина	От 190 до 450
высота	От 190 до 450
Материал	Сталь листовая 2 мм
Покрытие	Порошковая окраска или оцинкованная сталь
Цвет металлоконструкции	На выбор
<i>Полотно шторы</i>	
Материал, ткань	Стекловолокно с армированием нержавеющей проволокой и термостойкой тканью
Масса 1 м, кг	30
<i>Прочие характеристики</i>	
Предел огнестойкости	E160; E120; E60; E120; E180
Скорость перекрытия проема в случае возгорания, м/с	0,06–0,30
Напряжение электропитания привода, В / Ток, Гц	220/50 (переменный)
Мощность привода, Вт	400–500
Наличие кнопки для поднятия шторы при эвакуации людей	Обязательно
Периодичность проверки работы шторы на опускание	1 раз в 3 мес

пропитки огнестойким составом относятся к категории негорючих материалов (НГ).

Полотно шторы состоит из трех (или пяти) слоев (рис. 11). По краям расположены два слоя из кремнеземной ткани (рис. 12), между которыми находится стекловата. Общая толщина шторы в зависимости от необходимого предела огнестойкости конструкции достигает 7 мм. Такой материал может длительно выдерживать температуру 1400 °С и кратковременно — до 1700 °С. Для обеспечения такой (или большей) огнестойкости предлагается использовать материалы на основе стеклянного или базальтового волокна (рис. 13). Для материала на основе стеклянного волокна целесообразна дополнительная огнезащитная обработка. Полотно штор из стеклянного или базальтового волокна требует испытаний для определения его огнестойкости.

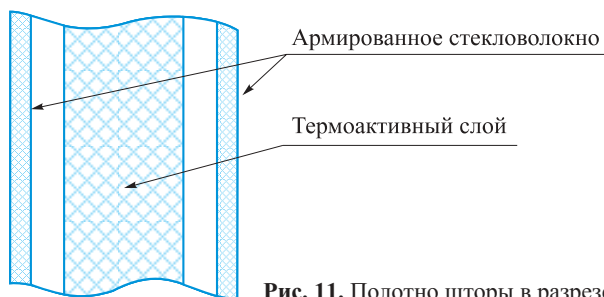

Рис. 11. Полотно шторы в разрезе

Рис. 12. Кремнеземная ткань

Сравнительная характеристика тканей на основе минеральных волокон приведена в табл. 2.

Наиболее перспективными волокнистыми материалами для теплоизолирующего слоя рабочего полотна являются рулонные нетканые материалы. Они обычно имеют толщину 5–16 мм и поперечное армирование, выполняемое по прошивной или иглопробивной технологии. Прошивная технология заключается в простегивании исходного холста непрерывной нитью с мелким шагом на вязально-прошивной машине. По иглопробивной технологии поперечное армирование осуществляется путем ориентации волокон исходного холста в поперечном направлении, которая реализуется посредством игл, внедряемых в холст с частым шагом. Описанные технологии позволяют добиться более равномерного распределения плотности материала по площади и существенно повысить его прочность по сравнению с неструктурированной ватой.

Известны рулонный прошивной материал на основе базальтовых волокон МБОР с поверхностной плотностью 100 кг/м² (ЗАО “Тизол–Огнезащита”, г. Нижняя Тура) и рулонный иглопробивной материал на основе кремнеземных волокон (ИПП-КВ) с поверхностной плотностью 140–200 кг/м² (НПО “Стеклопластик”, г. Зеленоград Московской обл.).

Обычно теплопроводность данных материалов при температуре 120 °С тем ниже, чем меньше их плотность. Однако при температурах среды пожара зависимость теплопроводности материалов от их плотности меняется на противоположную. Кроме того, в силу химической природы волокон и структуры сформированных из них материалов наиболее

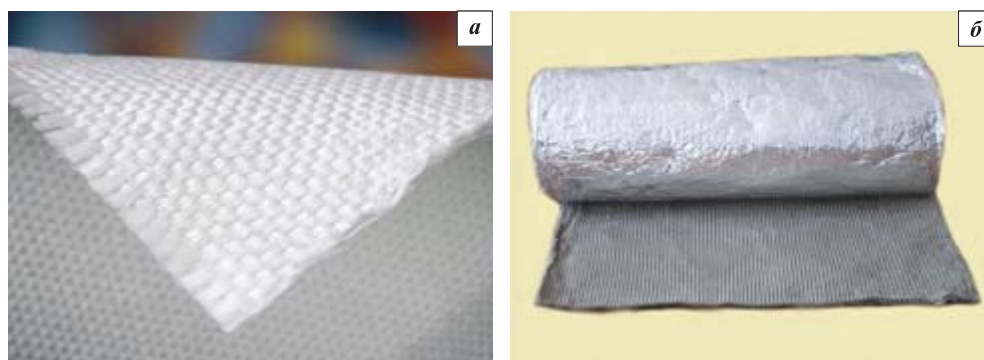


Рис. 13. Ткань из стекловолокна (а) и рулонный базальтовый материал (б)

термостойким материалам свойственна оптическая прозрачность. Это дополнительно повышает их теплопроводность в области высоких температур.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о невозможности существенного уменьшения массы и толщины рабочего полотна, сформированного из волокнистых материалов, при заданном пределе огнестойкости. Равно как нельзя добиться и существенного повышения предела огнестойкости конструкции при заданной толщине рабочего полотна.

Уменьшения толщины рабочего полотна в исходном состоянии можно достичь применением в качестве теплоизолирующего слоя или его части терморасширяющегося покрытия. Характерным примером такого технического решения является рабочее полотно, разработанное специалистами компании “Stöbich Brandschutz GmbH”.

Наиболее прогрессивным пассивным способом обеспечения огнестойкости является композиционный способ, основанный на создании в ограждающей части противопожарной преграды многослойной структуры из теплоизоляционных и огнезащитных материалов различного типа, сочетание которых обеспечивает максимальную эффективность конструкции для заданных условий работы.

Применительно к решаемой задаче заслуживает интерес композиционный способ, основанный на сочетании слоев из пористо-волокнистых материалов со слоями, содержащими разлагающуюся при нагревании кристаллическую воду.

Сухой теплоизоляционный материал за счет низкой теплопроводности позволяет постепенно снизить температуру среды пожара до некоторой величины. При этом в содержащем воду слое поддерживается постоянная температура — 100 °С.

Данное техническое решение позволяет продлить эффект стабилизации температуры и, следовательно, повысить предел огнестойкости либо снизить массу конструкции. Однако применительно к конструкции рабочего полотна противопожарной шторы повышение предела огнестойкости окажется незначительным. Это связано с тем, что количество

Таблица 2. Сравнительная характеристика тканей на основе минеральных волокон

Ткань	Страна-производитель	Поверхностная плотность ткани, кг/м ²	Температура применения, °С	Стоимость 1 м ² , руб.
Стеклоянная	Россия	590–660	550	82
Базальтовая			1450	270
Кремнеземная			1200	330
Кварцевая			1300	3200
Protex 1100	Германия		1100	4650

воды в соответствующем слое ограничено, поскольку он вследствие относительно высокой плотности подходящих для его формирования материалов и необходимости сохранения толщины и массы конструкции на приемлемом уровне может иметь достаточно малую толщину. Упомянутые материалы, как правило, представляют собой плиты и покрытия на минеральных связующих и характеризуются, соответственно, существенной жесткостью и хрупкостью. Это затрудняет их применение в конструкции рабочего полотна, которая должна обладать достаточной гибкостью.

В известных активных способах обеспечения огнестойкости конструкций отвод тепла от ограждающей части осуществляется заградительным и пленочным охлаждением, а также поглощением тепла за счет испарения охлаждающей жидкости.

Известные активные способы обеспечения огнестойкости конструкций основаны на использовании охлаждающей жидкости, которая может подаваться непосредственно на обогреваемую поверхность защищаемого объекта или применяться для формирования самостоятельной защитной завесы. В данном случае процесс теплопередачи от источника к защищаемому объекту в зависимости от конкретного способа может происходить как в нестационарном, так и в стационарном режиме.

Таблица 3. Технические характеристики огнезащитной ткани Protex 1100P

Показатель	Значение показателя
Масса 1 м ² ткани, г	660
Толщина, мм	0,63
Разрывная нагрузка, Н/см:	
по основе	1000
по утку	900
Огнестойкость:	
выдерживаемая температура, °С	1100
время, мин	180
Масса полиуретанового напыления на 1 м ² , г	20

Как уже упоминалось выше, в качестве противопожарных ограждений в зданиях могут применяться водяные завесы, создаваемые спринклерной или дренчерной системой. Однако существенным недостатком такого устройства являются низкие противодымные защитные свойства. Это побудило компанию “Stöbich Brandschutz GmbH” создать новую конструкцию противопожарной шторы, описанную выше, сочетающую водяную завесу с тканевым рабочим полотном.

В Европе наибольшее распространение получили противопожарные шторы, рабочее полотно которых изготавливается из одного слоя термостойкой и жаропрочной ткани, что обусловлено следующими факторами:

- относительно низкой стоимостью;
- компактностью и малой массой;
- особенностями нормативно-правовой базы, допускающей компенсацию отсутствия теплоизолирующей способности дополнительными мероприятиями, например введением безопасного расстояния между противопожарной преградой и потенциальной пожарной нагрузкой.

Характерным примером термостойкой и жаропрочной ткани, используемой в качестве рабочего полотна в противопожарных шторах “Fibershield”, является Protex 1100P. Данная ткань вырабатывается из термостойких, предположительно кварцевых, стеклонитей и усиливается нитями из нержавеющей стали. Она имеет плотную структуру, препятствующую прониканию дыма. Для повышения стойкости ткани к истиранию и герметичности по отношению к дымовым газам на нее могут наноситься полиуретановое покрытие. Технические характеристики ткани Protex 1100P приведены в табл. 3.

(Продолжение следует)

Материал поступил в редакцию 15.01.2015 г.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

И. В. САРАЕВ, адъюнкт Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: saraev-i-v@mail.ru)

А. Г. БУБНОВ, д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры пожарной техники, Учебно-научный комплекс "Пожаротушение" Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: bubag@mail.ru)

В. Ю. КУРОЧКИН, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной техники, Учебно-научный комплекс "Пожаротушение" Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: vyk_@mail.ru)

Ю. Н. МОИСЕЕВ, начальник кафедры пожарной техники, Учебно-научный комплекс "Пожаротушение" Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: fireman13@mail.ru)

А. Д. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной техники, Учебно-научный комплекс "Пожаротушение" Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: sad8_3@mail.ru)

УДК 614.843

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОБЩАЯ ПОЛЬЗА — ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Представлен новый подход к отбору пожарных рукавов. Обоснована возможность применения подхода, использующего безразмерный критерий общей пользы, для рационального выбора конкретного комплекта пожарных рукавов для оснащения пожарно-спасательных подразделений. Показано, что критерий рассчитывался исходя из показателей надежности рукавов, стоимости жизни и затрат на предотвращение отказов рукавов на пожаре. Выявлено, что показатель стоимости жизни незначительно влияет на результаты выбора комплекта рукавов при сопоставлении полученных расчетом показателей общей пользы.

Ключевые слова: пожарные рукава; техногенный риск; надежность; вероятность отказа; общая польза.

Темп и эффективность пожаротушения и спасательных работ зависят от множества факторов [1], поэтому выбор предпочтений по параметрам стоимости и эффективности предлагаемых мер при ограниченных ресурсах имеет одно из первоочередных значений [2]. Пожарные рукава являются одним из основных видов пожарного оборудования [3], и от их исправного состояния во многом зависит эффективность и успешность действий пожарных подразделений на пожаре. Стоимость пожарных рукавов и их эксплуатации по сравнению с другими видами пожарной техники достаточно высока. Кроме того, до 85 % отказов пожарной техники приходится именно на долю пожарных рукавов. Условия и режимы эксплуатации рукавов предъявляют повышенные требования к безотказности их работы. Возникновение отказов во время работы наиболее опасно, так как среднее время их устранения увеличивает время тушения на 5–8 мин, что, в свою очередь, может привести к срыву действий пожарно-спасательных подразделений (ПСП) или снижению их эффективности. Отметим, что в настоящее время более 10 отечествен-

ных и зарубежных фирм-производителей, таких как ПО "Берег", ОАО "Рукав", НПО "РУСАРСЕНАЛ" и др., выпускают виды пожарных рукавов различных диаметров. Следовательно, для лица, принимающего решение (ЛПР) по комплектованию ПСП пожарными рукавами, выбрать конкретного поставщика (производителя) рукавов (отвечающих всем современным требованиям, в том числе обеспечивающим минимально необходимое время обслуживания, наладки и профилактики) весьма затруднительно из-за отсутствия единых критериев выбора.

Авторами [4] за основу решения подобной задачи при выборе "портфеля антирисковых программ" был взят алгоритм редукции переменных, применяемый для решения одномерной задачи с одним ограничением, эффективность которого подтверждена многочисленными экспериментами [5]. Процесс решения задачи выбора в указанных работах был разбит на два этапа: первый — редукция переменных, ведущая к значительному сокращению размерности задачи; второй — определение оптимальных значений оставшихся (нередуцированных) переменных

за счет эффективного использования динамического программирования. Отметим, что этапы решения такой блочной задачи весьма громоздки, хотя и ведут к тем же результатам, которые были получены нами в [6], но с использованием другого подхода (на примере выбора из множества комплектов гидравлического аварийно-спасательного инструмента). Варианты более простого решения таких задач выбора по сравнению с указанными в [4, 5] представлены в [7–9].

Как отмечалось выше, выбор конкретного вида рукавов (независимо от их диаметра) на современном рынке представляет собой нетривиальную задачу. Ранее, в статье [6], было показано, что для выбора того или иного оборудования возможно использование интегрального показателя — математического ожидания ущерба от прекращения его работы как дополнительного критерия выбора комплекта пожарных рукавов. В связи с этим нами сделано предположение, что показатель относительной общей пользы W может быть использован и для выбора пожарных рукавов при оценке его по формуле [6, 10]:

$$W = V/(G + B), \quad (1)$$

где V — предотвращенный ущерб, руб., т. е. ущерб, который мог быть причинен в случае смертности или травматизма при ликвидации последствий пожара; $V = U$;

U — ущерб в случае отказа пожарных рукавов;
 G — затраты на предотвращение и снижение уровня техногенного риска (в первую очередь эксплуатационные затраты на обслуживание рукавов), руб.;

B — уровень техногенного риска, руб., который можно представить как математическое ожидание ущерба в результате отказа пожарного рукава.

Здесь уровень техногенного риска B в стоимостном выражении (математическое ожидание ущерба) рассчитывается по формуле

$$B = QU, \quad (2)$$

где Q — вероятность отказа оборудования при использовании рукавов (на пожаре).

Относительная общая польза W , приносимая пожарными рукавами при спасении одной человеческой жизни, может быть рассчитана при известных данных по затратам G на предотвращение отказов того или иного комплекта. Если же еще знать и реальные вероятности отказа оборудования Q , то можно получить более достоверные данные для сравнения комплектов рукавов (причем чем выше величина W , тем более надежен и эффективен (относительно) тот или иной комплект рукавов).

При существующей системе учета отказов пожарных рукавов, в том числе из-за нежелательности

огласки (во время тушения пожара), получить статистически достоверные данные по подобным событиям не представляется возможным. Поэтому для выполнения расчетов величины W , а также при выборе того или иного комплекта рукавов для определения вероятностей неблагоприятных событий (отказов) можно воспользоваться методом построения и анализа “дерева отказов” (АДО) [10] технологических процессов, как наиболее часто используемым и наглядным, тем более что он рекомендуется рядом нормативных документов. Например, в [11] приведен пример построения “дерева отказов”, а для более сложных случаев можно найти многочисленные примеры в технической литературе [12].

Допустимое значение вероятности безотказной работы выбирается в зависимости от степени опасности отказа и определяется нормативным документом [13], из которого следует, что допустимая вероятность безотказной работы P для пожарных рукавов должна быть не менее 0,99. Приближенный расчет P дает значение 0,9938 (следовательно, $Q = 0,0062$). Соответственно, нормативная вероятность отказа пожарных рукавов Q не должна превышать 0,01 (или 1 %).

Для расчета вероятности безотказной работы рукавов P и, соответственно, вероятности их отказа Q по [10, 11] нами были выбраны три наиболее важные характеристики четырех комплектов рукавов “Латексированный”, “Армтекс”, “Тетекс”, “Стандарт” [14, 15] (см. таблицу). Эксплуатационные годовые затраты G на обслуживание рукавов диаметром 51 мм (всегда используемых при тушении пожаров [3]) по данным учебной пожарной части ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России не зависят от марки и составляют 9246 руб. на один рукав, т. е. они одинаковы для всех видов рукавов.

Наихудшим событием, которое может случиться с пожарными рукавами на пожаре, является их выход из строя (отказ) и последующее возможное замедление темпа тушения пожара. Ущерб из-за отказа рукавов U будет зависеть от смертности и тяжести заболеваний, потерь времени, связанных непосредственно с замедлением скорости тушения пожара.

Для демонстрации возможности использования формул (1) и (2) в целях рационального выбора закупаемого пожарного оборудования примем, что наихудшим событием при отказе рукавов будет смерть индивидуума. Поскольку стоимость жизни в России на законодательном уровне до сих пор не определена, для расчета U можно воспользоваться показателем статистической стоимости жизни (ССЖ), применяемым в случае необходимости принятия решений на государственном уровне, например для оценки целесообразности реформ, проектов и мер.

Результаты расчета относительной общей пользы для выбора комплекта рукавов

Показатель	Наименование рукавов				
	Армтекс	Латексированный	Стандарт	Гетекс	
Стойкость к абразивному износу, циклы	320	300	50	43	
Температура хрупкости покрытия, °С	-46	-40	-60	-53	
Стойкость к контактному прожигу при (450±10) °С, с	34	30	25	5,3	
Стоимость комплекта рукавов, руб.	2200	2585	1400	1570	
Q	0,0065	0,0072	0,0072	0,0083	
P	0,9934	0,9928	0,9928	0,9916	
B , руб.	B'	23400	25920	25920	29880
	B''	6409	7099	7099	8184
W	W'	110,2	102,3	102,3	92,0
	W''	62,9	60,3	60,3	56,5

Примечание. B' и W' рассчитаны исходя из оценки U по данным компании “Росгосстрах”, B'' и W'' — исходя из оценки U по ССЖ.

Использовать для этих целей ССЖ предложил НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды РАМН (в настоящее время ССЖ не применяется для принятия решений о компенсации за причиненный ущерб):

$$ССЖ = ВВП T_{cp} / N, \quad (3)$$

где ВВП — валовой внутренний продукт, руб. (например, для Ивановской обл. ВВП = 152,18 млрд. руб. в 2013 г.);

T_{cp} — средняя продолжительность жизни населения в регионе, лет; $T_{cp} = 67,2$ года (62,5 — для мужчин, 72 — для женщин);

N — численность населения в регионе, чел.; $N = 1037079$ чел.

Приведенные данные приняты по сведениям Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Ивановской обл. (<http://ivanovo.gks.ru>).

Кроме того, согласно исследованиям, проведенным Центром стратегических исследований компании “Росгосстрах” (<http://www.rgs.ru>) в 36 крупных и средних российских городах, “стоимость” человеческой жизни в России на первую половину 2014 г. составляет 3,6 млн. руб.

Результаты расчета вероятностных величин P и Q , относительной общей пользы применения различных комплектов рукавов W , а также математиче-

ских ожиданий ущерба из-за вероятного отказа оборудования B — по данным компании “Росгосстрах” (B') и по показателю ССЖ (B'') в Ивановской обл. приведены в таблице. Ее анализ показывает, что независимо от того, каким образом рассчитывался ущерб U , самый высокий показатель общей пользы W (по сравнению с другими рукавами) имеют рукава “Армтекс”. Хотя закупочная цена этих рукавов не самая высокая, но показатель общей пользы на 7 % выше, чем у более дорогих рукавов, а уровень техногенного риска даже ниже в 1,11 раза, чем у недорогих рукавов “Стандарт”. Для получения более точных показателей ЛПР в дальнейшем могут использовать и другие важные характеристики рукавов, предоставляемые фирмами-производителями, и в первую очередь статистические данные по отказам рукавов (это позволит наиболее рационально и эффективно подойти к выбору пожарных рукавов).

Таким образом, предложенный ранее подход к оценке надежности [6] пожарно-спасательного оборудования с использованием показателей риска для расчета критерия относительной общей пользы может дополнять предоставляемые фирмами-производителями результаты сертификационных испытаний для принятия управленческих решений по включению или невключению их в стандартный комплект рукавов ПСП [16, 17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Statheropoulos M., Agapiou A., Pallis G. C., Mikedi K., Karma S., Vamvakari J., Dandoulaki M., Andritsos F., Thomas C. L. P. Factors that affect rescue time in urban search and rescue (USAR) operations // Natural Hazards. — 2014. — Vol. 75, Issue 1. — P. 57–69. doi: 10.1007/s.11069-014-1304-3.
2. Psarros G., Skjong R., Eide M. S. The acceptability of maritime security risk // Journal of Transportation Security. — 2009. — Vol. 2, Issue 4. — P. 149–163. doi: 10.1111/j.1541-1338.2004.00080.x.

3. Полозов А. А., Самохвалов Ю. П. Определение относительных частот использования пожарного оборудования на пожарах // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 62–65.
4. Ingargiola G. P., Korsh J. F. Reduction algorithm for zero-one single knapsack problems // Management Science. — 1973. — Vol. 20, No. 4. — Part 1. — P. 460–463. doi: 10.1287/mnsc.20.4.460.
5. Птускин А. С., Левнер Е. В. Выбор антирисковых программ для уменьшения потерь в цепях поставок // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Сер.: Машиностроение. — 2014. — Т. 96, № 3. — С. 119–135.
6. Бубнов А. Г., Курочкин В. Ю., Моисеев Ю. Н., Семенов А. Д. Использование показателей риска для выбора аварийно-спасательного оборудования // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 2. — С. 50–55.
7. Филяновский А. М., Иванов А. Н., Поляков А. С. Сужение неопределенностей экспертных оценок эффективности гидравлического аварийно-спасательного инструмента // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. — 2013. — № 2. — С. 29–35.
8. Филяновский А. М., Поляков А. С. Оценка параметров гидравлического аварийно-спасательного инструмента на основе метода анализа размерностей // Проблемы управления рисками в техно-сфере. — 2012. — Т. 22, № 2. — С. 12–19.
9. Годосейчук С. П., Парамонов В. В. Сравнительная оценка эффективности гидравлического инструмента для проведения аварийно-спасательных работ // Технологии гражданской безопасности. — 2006. — Т. 3, № 1. — С. 78–79.
10. Бубнов А. Г., Гриневиц В. И., Гуцин А. А., Пластинина Н. А. Методология выбора способа очистки воды от органических соединений с использованием параметров экологического риска // Известия вузов. Сер.: Химия и химическая технология. — 2007. — Т. 50, вып. 8. — С. 89–93.
11. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов : утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 10.07.2001 № 30; введ. 01.10.2001. — М. : НТЦ “Промышленная безопасность”, 2001.
12. Алымов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск. Анализ и оценка : учебное пособие для вузов. — М. : ИКЦ “Академкнига”, 2004. — 118 с.
13. ГОСТ Р 22.9.01–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательный инструмент и оборудование. Общие технические требования. — Введ. 01.01.96. — М. : Изд-во стандартов, 1995.
14. ГОСТ Р 51049–2008. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 27.02.2009. — М. : Изд-во стандартов, 2008.
15. NFPA 1961. Standard on fire hose. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2013.
16. Теребнев В. В., Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 51–57.
17. Теребнев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 14–17.

Материал поступил в редакцию 17 февраля 2015 г.

English

AVAIL TOTAL ADVANTAGE — ADDITIONAL CRITERION OF THE FIRE HOSES CHOICE

SARAEV I. V., Adjunct of Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: saraev-i-v@mail.ru)

BUBNOV A. G., Doctor of Chemical Sciences, Docent, Professor of Fire Fighting Equipment Department, Educational and Scientific Complex “Firefighting” of Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: bubag@mail.ru)

KUROCHKIN V. Yu., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Fire Fighting Equipment Department, Educational and Scientific Complex “Firefighting” of Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: vyk_@mail.ru)

MOISEEV Yu. N., Head of Fire Fighting Equipment Department, Educational and Scientific Complex "Firefighting" of Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: fireman13@mail.ru)

SEMENOV A. D., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Fire Fighting Equipment Department, Educational and Scientific Complex "Firefighting" of Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: sad8_3@mail.ru)

ABSTRACT

Fire hoses alongside with other fire equipment are one of the main types of it. The efficiency and success of fire brigades activities depends on its good condition. The use of hoses has requirements for the reliability of their work. The failure in this mode is the most dangerous, because the time to repair failures significantly increases the time required to extinguish the fire. It is well known that currently, more than 10 domestic and foreign manufacturers produce different sets of fire hoses.

Therefore, the choice of a particular manufacturer of modern fire hoses, that minimize time for maintenance and prevention, from the hoses-analogues is very difficult for the specialist because of the lack of uniform criteria.

Previously it was shown that for the choice of equipment the specialist can apply the integral indicator the mathematical expectation of damage from the loss of his health. We made the assumption that indicator of the relative common benefit can be used for justification of the choice set fire hoses. Moreover, the higher the value of this benefit, the more reliable and relatively effective is one or the other set.

Because the worst result of fire is temporary incapacitation (or failure) of fire hoses with a subsequent slower rate of fire, damage from the specified failure will primarily depend on the mortality and severity of diseases associated with slowing of the rate of extinguishment (using the value of human life.).

For testing we have selected the three most important characteristics of the four sets of hoses "Latexonly", "Armtex", "Getex", "Standard", manufactured according to State Standard 51049-2008.

The results of the calculations show that the highest common benefit (compared with other hoses) has "Armtex". Although the purchase price of these hoses is lower than the most expensive hoses, and the total benefit is 7 % higher (the level of technogenic risk is also lower in 1.11 times than the cheap hoses — "Standard").

Therefore, the previously proposed approach to the assessment of reliability on example, of a hydraulic rescue tool (using risk indicators) can be used to determine the most reliable fire and rescue equipment, including fire hoses.

Keywords: fire hoses; technogenic risk; reliability; probability of failure; total advantage.

REFERENCES

1. Statheropoulos M., Agapiou A., Pallis G. C., Mikedi K., Karma S., Vamvakari J., Dandoulaki M., Andritsos F., Thomas C. L. P. Factors that affect rescue time in urban search and rescue (USAR) operations. *Natural Hazards*, 2014, vol. 75, issue 1, pp. 57–69. doi: 10.1007/s.11069-014-1304-3.
2. Psarros G., Skjong R., Eide M. S. The acceptability of maritime security risk. *Journal of Transportation Security*, 2009, vol. 2, issue 4, pp. 149–163. doi: 10.1111/j.1541-1338.2004.00080.x.
3. Polozov A. A., Samokhvalov Yu. P. Opredeleniye otnositelnykh chastot ispolzovaniya pozhnogo oborudovaniya na pozharakh [Determination of the relative frequency of use of fire fighting equipment on fire]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 4, pp. 62–65.
4. Ingargiola G. P., Korsh J. F. Reduction algorithm for zero-one single knapsack problems. *Management Science*, 1973, vol. 20, no. 4, part 1, pp. 460–463. doi: 10.1287/mnsc.20.4.460.
5. Ptuskin A. S., Levner E. V. Vybor antiriskovykh programm dlya umensheniya poter v tsepyakh postavok [Selection of anti-risk programs for reducing losses on supply chains]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana. Seriya: Mashinostroyeniye — Herald of Moscow State Technical University N. E. Bauman. Series: Engineering*, 2014, vol. 96, no. 3, pp. 119–135.

6. Bubnov A. G., Kurochkin V. Yu., Moiseev Yu. N., Semenov A. D. Ispolzovaniye pokazateley riska dlya vybora avariyno-spasatel'nogo oborudovaniya [The use of risk indicators to select rescue equipment]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 50–55.
7. Filanovskiy A. M., Ivanov A. N., Polyakov A. S. Suzheniye neopredelennostey ekspertnykh otsenok effektivnosti gidravlicheskogo avariyno-spasatel'nogo instrumenta [Narrowing the uncertainties of expert assessments of the effectiveness of hydraulic rescue tools]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Bulletin of the St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2013, no. 2, pp. 29–35.
8. Filanovskiy A. M., Polyakov A. S. Otsenka parametrov gidravlicheskogo avariyno-spasatel'nogo instrumenta na osnove metoda analiza razmernostey [Parameter estimation of hydraulic rescue tools on the basis of dimensional analysis]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Risk Management Problem in the Technosphere*, 2012, vol. 22, no. 2, pp. 12–19.
9. Todoseychuk S. P., Paramonov V. V. Sravnitel'naya otsenka effektivnosti gidravlicheskogo instrumenta dlya provedeniya avariyno-spasatel'nykh rabot [Comparative evaluation of hydraulic tools for rescue operations]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti — Civil Security Technology*, 2006, vol. 3, no. 1, pp. 78–79.
10. Bubnov A. G., Grinevich V. I., Gushchin A. A., Plastinina N. A. Metodologiya vybora sposoba ochistki vody ot organicheskikh soyedineniy s ispolzovaniyem parametrov ekologicheskogo riska [Methodology selection method of water purification from organic compounds using parameters environmental risk]. *Izvestiya vuzov. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya — Proceedings of the Universities. Series: Chemistry and Chemical Technology*, 2007, vol. 50, no. 8, pp. 89–93.
11. *Management Document 03-418-01. Methodological guidelines for risk analysis of hazardous production facilities*. Moscow, Promyshlennaya bezopasnost Publ., 2001. 18 p. (In Russian).
12. Alymov V. T., Tarasova N. P. *Tekhnogennyy risk. Analiz i otsenka. Uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Technological risk. Analysis and evaluation. A manual for schools]. Moscow, Akademkniga Publ., 2004. 118 p.
13. *State Standard of Russian Federation 22.9.01-95. Safety in emergencies. Emergency and rescue tools and equipment. General technical requirements*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1995. 12 p. (in Russian).
14. *State Standard of Russian Federation 51049-2008. Fire equipment. Pressure fire hoses. General technical requirements. Test methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 23 p. (in Russian).
15. *NFPA 1961. Standard on fire hose*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2013.
16. Terebnev V. V., Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D. V. Analiz i podderzhka resheniy pri tushenii krupnykh pozharov [Analysis and support solutions that arise when putting out large fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 51–57.
17. Terebnev V. V., Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D. V. Teoreticheskiye osnovy prinyatiya resheniy pri upravlenii silami i sredstvami na pozhare [Decision making theoretical basis of management on fire]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17.

УДК 614.84

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ДИСЛОКАЦИИ ПОЭТАПНО СОЗДАВАЕМЫХ ПОЖАРНЫХ ЧАСТЕЙ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И КОРРЕКТИРОВКИ ГРАНИЦ РАЙОНОВ ВЫЕЗДА

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

Предложен проект приложения к СП 11.13130.2009 “Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения” в виде методики, регламентирующей порядок определения мест дислокации поэтапно создаваемых пожарных частей в сельской местности и корректировки границ районов выезда. Показано, что данная методика, основанная на оценке пожарной уязвимости населенных пунктов в регионах, достаточно проста в применении и позволяет сбалансировать нагрузку на существующие и вновь создаваемые пожарные части.

Известно, что чем быстрее к месту вызова прибудет первый пожарный караул, тем меньше будет ущерб от пожара и выше вероятность обеспечения безопасности людей. В связи с этим п. 1 ст. 76 Федерального Закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1] (далее — Технический регламент) устанавливает время прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не более 10 мин, в сельских поселениях — не более 20 мин.

Выполнение этого требования может быть достигнуто за счет устройства достаточного количества пожарных частей (ПЧ), их рационального размещения на территории города или в населенных пунктах (НП) сельской местности и установления оптимальных границ районов выезда ПЧ. Для решения этой задачи был разработан СП 11.13130.2009 “Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения” [2], распространяющийся на подразделения пожарной охраны независимо от ее вида. Согласно СП [2] необходимое количество ПЧ и места их дислокации устанавливаются исходя из того, что пожар должен быть ликвидирован прежде, чем:

- его площадь превысит площадь, которую может потушить один дежурный караул;
- наступит предел огнестойкости строительных конструкций в помещении пожара;
- опасные факторы пожара (ОФП) достигнут критических для жизни людей значений.

Это, в свою очередь, предполагает необходимость сбора большого объема исходных данных (предварительный этап), проведения расчетов (в том числе

пожарно-тактического расчета динамики площади пожара, оценки предельного состояния строительных конструкций при высокотемпературном воздействии, определения необходимого времени эвакуации¹) и подготовки заключения по размещению ПЧ.

Однако при практическом применении СП [2] были выявлены следующие проблемы:

- большая трудоемкость методики;
- неоднозначность или многовариантность решений (последний абзац п. 6.3), что приводит в конечном счете к необходимости “волевого” решения;
- отсутствие учета экономических возможностей по созданию расчетного количества ПЧ.

Применительно к сельской местности последняя проблема проявляется наиболее остро. Опыт обеспечения пожарной безопасности в Ленинградской обл. при участии Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России показал, что наиболее правильным путем является поэтапное (по мере выделения финансирования) наращивание числа ПЧ вплоть до выполнения требований ст. 76 Технического регламента [1]. В результате проведенных исследований был предложен метод, представленный в виде методических рекомендаций [3]. Сравнительный анализ данного метода, Технического регламента [1], СП 11.13130 [2] и разработок специалистов Академии ГПС МЧС России приведен в работе [4].

В результате анализа установлено, что метод, основанный на поэтапном наращивании числа ПЧ

¹ По наиболее простой интегральной модели, приведенной, например, в обязательном приложении 2 к ГОСТ 12.1.004–91* “ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования”.

и последующей корректировке границ районов выезда, наиболее перспективен для обеспечения пожарной безопасности в населенных пунктах сельской местности. Представляется целесообразным включить его в СП [2] в виде приложения Б, которое публикуется далее.

Ознакомление широкого круга специалистов с проектом данного приложения позволит, во-первых, вооружить их соответствующей расчетной методикой, а во-вторых, собрать отзывы для обоснования внедрения приложения Б в СП [2] и его совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.08 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Российская газета. — 2008. — № 163; Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения (с изм.: приказ МЧС РФ от 09.12.2010 № 642) : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 № 181; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. Методические рекомендации по определению рациональной дислокации вновь создаваемых пожарных частей в населенных пунктах районов и областей и оптимизации районов обслуживания : учебное пособие / Под ред. В. С. Артамонова. — СПб. : СПбУ ГПС МЧС России, 2010.
4. Таранцев А. А. О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 52–56.

Материал поступил в редакцию 15 января 2015 г.

СП 11.13130.20**

**Приложение Б
(рекомендуемое)**

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ДИСЛОКАЦИИ ПОЭТАПНО СОЗДАВАЕМЫХ ПОЖАРНЫХ ЧАСТЕЙ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И КОРРЕКТИРОВКИ ГРАНИЦ РАЙОНОВ ВЫЕЗДА

Б.1 Введение

Данная методика позволяет определить, во-первых, в каком населенном пункте (НП) целесообразно разместить новую пожарную часть (ПЧ), если на ее создание выделены средства, и, во-вторых, как рационально скорректировать границы районов выезда действующих и вновь создаваемой ПЧ. Методика рассчитана на поэтапное наращивание числа ПЧ с учетом федерального бюджета и бюджетов регионов вплоть до выполнения требований ГОСТ 12.1.004–91* “ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования” и Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”.

Б.2 Оценка пожарной уязвимости НП и административно-территориальной единицы

Пожароуязвимым НП считается НП, который не имеет ПЧ (или какого-либо подразделения пожарной охраны) на своей территории и время сле-

дования к которому пожарного караула из ближайшей ПЧ превышает 20 мин². Уровень пожароуязвимости u такого НП зависит от ряда факторов и может быть оценен по выражению

$$u = \sum_{i=1}^M w_i X_i, \quad (\text{Б.1})$$

где M — число факторов, влияющих на пожарную уязвимость;

w_i — вес i -го фактора;

X_i — нормированная величина i -го фактора.

Величины весов факторов, обуславливающих пожароуязвимость НП, определяются известными экспертными методами³ и являются положительными,

² Согласно п. 1 ст. 76 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”.

³ Например, Добров Г. М. и др. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании (К. : Наукова думка, 1974); Саати Т. Принятие решений в многокритериальной среде. Метод анализа иерархий (М. : Радио и связь, 1993).

а их сумма равна единице, т. е. $w_1 + w_2 + \dots + w_M = 1$. В первом приближении можно полагать $w_i = M^{-1}$, $i \in [1, M]$. Нормировка факторов, влияющих на пожароуязвимость НП, проводится из условия $0 < X_i < 1$ по выражению

$$X_i = \frac{0,5(1-k)x_{i\max} - 0,5(1+k)x_{i\min} + kx_i}{x_{i\max} - x_{i\min}}, \quad (Б.2)$$

$$i \in [1, M],$$

где x_i — величина i -го фактора для конкретного НП; k — коэффициент, равный $+1$, если при увеличении i -го фактора пожароуязвимость НП возрастает, и -1 , если она снижается;

$x_{i\max}$, $x_{i\min}$ — наибольшее и наименьшее значения i -го фактора по перечню из N рассматриваемых НП.

Из выражений (Б.1) и (Б.2) следует, что уровень пожароуязвимости НП лежит в пределах от 0 до 1: чем пожароуязвимость НП выше, тем величина u ближе к 1. Таким образом можно определить u_1, \dots, u_N для всех N пожароуязвимых НП административно-территориальной единицы (АТЕ) — района и области или гарнизона пожарной охраны (ПО) в целом.

Например, если наиболее важными факторами, влияющими на пожароуязвимость НП, являются⁴: расстояние до ближайшей ПЧ x_1 , число жителей x_2 , количество важных объектов (школы, больницы, памятники архитектуры и т. п.) x_3 , число пожаров x_4 и погибших от ОФП x_5 за расчетный период (например, год или 5 лет), то $M = 5$ и $k = +1$, поскольку при увеличении любого из факторов x_1, \dots, x_5 пожароуязвимость НП возрастает. При этом выражения (Б.1) и (Б.2) принимают вид соответственно:

$$u = w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3 + w_4 X_4 + w_5 X_5; \quad (Б.3)$$

$$X_i = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}}, \quad i \in [1; 5]. \quad (Б.4)$$

На основании вектора значений $[u_1, \dots, u_N]$, полученного по выражениям (Б.1) и (Б.2), можно оценить и пожароуязвимость АТЕ:

$$U_P = \sum_{j=1}^N u_j, \quad (Б.5)$$

где P — индекс, обозначающий число ПЧ в АТЕ.

С использованием величины U_P можно объективно сравнивать различные АТЕ между собой по уровню пожароуязвимости.

⁴ Методические рекомендации по определению рациональной дислокации вновь создаваемых пожарных частей в НП районов и областей и оптимизации районов обслуживания : учебное пособие / Под ред. В. С. Артамонова (СПб. : СПбУ ГПС МЧС России, 2010).

Б.3 Оценка обоснованности размещения ПЧ и корректировки границ районов выезда

По вектору значений $[u_1, \dots, u_N]$ можно принять обоснованное решение по размещению новой ПЧ в НП с наибольшим значением $u_m = \max(u_1, \dots, u_N)$. Затем оставшиеся пожароуязвимые НП перезакрепляются за действующими и вновь созданной ПЧ (величина u_m для НП, где создана новая ПЧ, приравнивается к 0). Рациональность изменения таким образом границ районов выезда ПЧ оценивается по двум критериям: снижению пожароуязвимости АТЕ ΔU и равномерности нагрузок на ПЧ.

Величина ΔU оценивается как разность между прежним (U_P) и новым (U_{P+1}) уровнями пожароуязвимости в АТЕ:

$$\Delta U = U_P - U_{P+1}, \quad (Б.6)$$

а нагрузка на каждую ПЧ определяется как сумма уровней пожароуязвимости НП в районе выезда этой ПЧ: S_1, S_2, \dots, S_{P+1} . Неравномерность этих нагрузок может быть оценена через среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \{[(S_1 - S_{cp})^2 + (S_2 - S_{cp})^2 + \dots + (S_{P+1} - S_{cp})^2] / P\}^{0,5}, \quad (Б.7)$$

или максимальную абсолютную разницу в нагруженности ПЧ:

$$\Delta_{\max} = \max |\Delta S_{ij}|, \quad (Б.8)$$

где S_{cp} — средняя нагрузка на ПЧ;

$$S_{cp} = (S_1 + \dots + S_{P+1}) / (P+1);$$

ΔS_{ij} — наибольшая разница между степенью нагруженности ПЧ_{*i*} и ПЧ_{*j*}.

Величины σ и Δ_{\max} , как правило, значительно коррелированы, что позволяет использовать любую из них. В результате может быть рассмотрено несколько вариантов (как правило, их число очень ограничено) с различными сочетаниями $\{\Delta U, \sigma\}$ или $\{\Delta U, \Delta_{\max}\}$, после чего принимается окончательное решение о границах районов выезда всех $(P+1)$ ПЧ, исходя из конкретных особенностей АТЕ.

Если появляется возможность оборудовать еще одну ПЧ (т. е. общее число ПЧ будет $P+2$), то вышеизложенным способом снова оценивают уровень пожароуязвимости НП $[u_1, \dots, u_N]$, новую ПЧ размещают в следующем наиболее пожароуязвимом НП, перезакрепляют пожароуязвимые НП за $(P+2)$ ПЧ и оценивают полученный эффект по выражениям, аналогичным (Б.6) и (Б.7) (выражение (Б.8) при этом остается в силе):

$$\Delta U = U_P - U_{P+2}; \quad (Б.9)$$

$$\sigma = \{[(S_1 - S_{cp})^2 + (S_2 - S_{cp})^2 + \dots + (S_{P+2} - S_{cp})^2] / (P+1)\}^{0,5}, \quad (Б.10)$$

где $S_{cp} = (S_1 + \dots + S_{P+2}) / (P+2)$.

Подобным образом можно действовать, если появляется возможность оборудования трех и более новых ПЧ.

Б.4 Выводы

Особенности методики заключаются в следующем:

а) она рассчитана на поэтапный ввод в строй дополнительных ПЧ с учетом федерального бюджета и бюджетов регионов;

б) методика позволяет количественно и объективно оценить эффект от ввода в строй дополнительных ПЧ и изменения границ районов их выезда;

в) методика доступна (может применяться в гарнизонах ПО без использования сложных компьютерных программ, достаточно Excel), “прозрачна” (все расчеты могут быть проверены на любом этапе) и “открыта” (могут быть откорректированы данные о НП и, при необходимости, учтены дополнительные факторы — степень огнестойкости зданий и сооружений в НП, категории их взрывопожарной и

пожарной опасности, этажность, достаточность противопожарного водоснабжения и др.);

г) методика дает возможность в гарнизонах ПО предварительно прорабатывать варианты оперативного перезакрепления НП за свободными ПЧ, если караул какой-либо ПЧ убывает на тушение пожара в своем районе выезда.

Б.5 Примеры

Б.5.1 Положения методики целесообразно рассмотреть на примере условной АТЕ с 20 НП, в двух из которых (НП_А и НП_Б) размещены ПЧ, а остальные не имеют своей ПО. В табл. Б.5.1 приведены расстояния между НП, в табл. Б.5.2 — данные о числе жителей, важных объектов, количестве пожаров и жертв на них, на рис. Б.5.1 — схема АТЕ и исходное деление на районы выезда ПЧ_А и ПЧ_Б.

Б.5.2 По данным, приведенным в табл. Б.5.1, Б.5.2 и на рис. Б.5.1, требуется определить уровни пожароуязвимости НП и выявить НП, в которых в первую очередь следует оборудовать ПЧ.

Таблица Б.5.1 Расстояния между НП, км

НП	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
А		11	12	15	11		17			15						
Б								12	9		10	15				
1	15	23														
2	0												11			
6				0	12											
8								11								
9							0	10								
12									0			14				
13										0			11	18		
14											0				15	
16														0	10	21

Примечание. Пробелы означают отсутствие дороги непосредственно между двумя НП.

Таблица Б.5.2 Данные об обстановке в НП

НП	x_1 , км	x_2 , тыс. чел.	x_3	x_4	x_5	> 20 мин	НП	x_1 , км	x_2 , тыс. чел.	x_3	x_4	x_5	> 20 мин
1	34	3,0	2	7	—	+	10	12	2,7	—	2	—	
2	49	0,7	—	1	2	+	11	9	1,6	1	7	2	
3	11	1,2	1	1	—		12	15	3,2	1	3	—	+
4	12	0,8	2	1	1		13	10	2,0	1	—	—	
5	15	1,5	—	2	—	+	14	15	1,4	2	4	3	+
6	11	0,2	2	—	—		15	21	7,0	4	10	1	+
7	23	0,1	—	4	1	+	16	28	2,5	1	2	—	+
8	23	—	—	3	—	+	17	27	0,5	—	3	—	+
9	17	0,6	3	—	—	+	18	49	1,0	—	—	—	+

Примечания:

1. x_4 , x_5 — количество пожаров и погибших от ОФП в НП за 5 лет.

2. “+” означает, что время прибытия превышает 20 мин при скорости автоцистерны 40 км/ч.

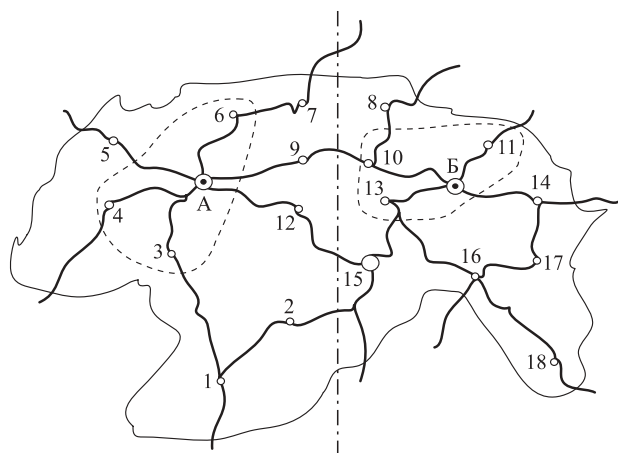


Рис. Б.5.1 Схема условной АТЕ и исходное распределение НП без ПО между двумя ПЧ в НП_А и НП_Б: ---- — границы зон, в которых время прибытия не превышает нормативного значения 20 мин при скорости автоцистерны 40 км/ч

Из имеющихся данных получаем: наибольшее расстояние между ПЧ_А и НП₂ или между ПЧ_Б и НП₁₈ — 49 км, наименьшее между ПЧ_Б и НП₁₁ — 9 км. Тогда $x_{1\max} = 49$, $x_{1\min} = 9$. Соответственно, $x_{2\max} = 7,0$ (наибольшее число жителей в НП₁₅), $x_{2\min} = 0$ (в НП₈ нет зарегистрированных жителей, строения принадлежат людям, проживающим в других НП, или являются бесхозными); $x_{3\max} = 4$ (в НП₁₅ имеется 4 важных объекта), $x_{3\min} = 0$ (в 7 НП только жилые и хозяй-

ственные строения); $x_{4\max} = 10$ (в НП₁₅ за истекший период произошло 10 пожаров); $x_{1\min} = 0$ (в 4 НП пожаров не было); $x_{5\max} = 3$ (в НП₁₅ 3 чел. погибли от ОФП), $x_{5\min} = 0$ (в 11 НП гибели людей на пожарах не было). Тогда, поскольку все факторы желательно увеличивать ($k = +1$), согласно (Б.4) нормировочные выражения принимают вид:

$$X_1 = (x_1 - 9)/(49 - 9) = 0,025(x_1 - 9);$$

$$X_2 = (x_2 - 0)/(7 - 0) \approx 0,1429x_2;$$

$$X_3 = (x_3 - 0)/(4 - 0) = 0,25x_3;$$

$$X_4 = (x_4 - 0)/(10 - 0) = 0,1x_4;$$

$$X_5 = (x_5 - 0)/(3 - 0) \approx 0,3333x_5.$$

Результаты расчетов по выражениям (Б.3) и (Б.4) приведены в табл. Б.5.3. При этом веса $\{w\}$ принимали одинаковыми, равными 0,2, и оценивали уровень пожароуязвимости всех НП без ПЧ, поскольку заранее неизвестно, с какой скоростью смогут ехать к ним пожарные караулы в различное время года. По выражению (Б.5) был оценен общий уровень пожароуязвимости: $U_2 = 4,6338$, а по (Б.7) и (Б.8) — неравномерность нагруженности ПЧ: $\sigma = 0,3781$, $\Delta_{\max} = 0,5347$. Полученные данные свидетельствует о достаточно равномерной нагруженности ПЧ_А и ПЧ_Б. Из них также следует, что наиболее пожароуязвимым является НП₁₅.

Таблица Б.5.3 Результаты расчета уровня пожарной уязвимости НП

НП	Факторы					u_j	Примечание
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5		
1	0,6250	0,4286	0,50	0,70	0	0,4507	ПЧ _А $S_1 = 2,0495$
2	1	0,1000	0	0,10	0,6667	0,3733	
3	0,0500	0,1714	0,25	0,10	0	0,1143	
4	0,0750	0,1143	0,50	0,10	0,3333	0,2245	
5	0,1500	0,2143	0	0,20	0	0,1129	
6	0,0500	0,0286	0,50	0	0	0,1157	
7	0,3500	0,0143	0	0,40	0,3333	0,2195	
9	0,2000	0,0857	0,75	0	0	0,2071	ПЧ _Б $S_2 = 2,5843$
12	0,1500	0,4571	0,25	0,30	0	0,2314	
8	0,3500	0	0	0,30	0	0,1300	
10	0,0750	0,3857	0	0,20	0	0,1321	
11	0	0,2286	0,25	0,70	0,6667	0,3691	
13	0,0250	0,2857	0,25	0	0	0,1121	
14	0,1500	0,2000	0,50	0,40	1	0,4500	
15	0,3000	1	1	1	0,3333	0,7267	
16	0,4750	0,3571	0,25	0,20	0	0,2564	
17	0,5250	0,0714	0	0,30	0	0,1793	
18	1	0,1429	0	0	0	0,2286	

Примечание. Полу жирным шрифтом выделен наиболее пожароуязвимый НП.



Рис. Б.5.2 Первый вариант разграничения районов обслуживания ПЧ_А, ПЧ_Б и ПЧ₁₅



Рис. Б.5.5 Первый вариант разграничения районов обслуживания ПЧ_А, ПЧ_Б, ПЧ₁₅ и ПЧ₁₄

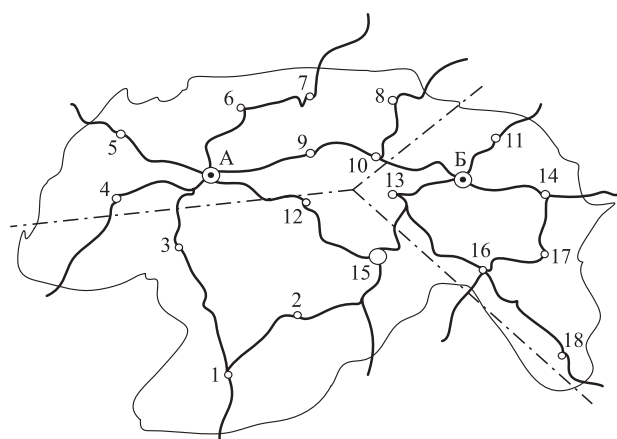


Рис. Б.5.3 Второй вариант разграничения районов обслуживания ПЧ_А, ПЧ_Б и ПЧ₁₅

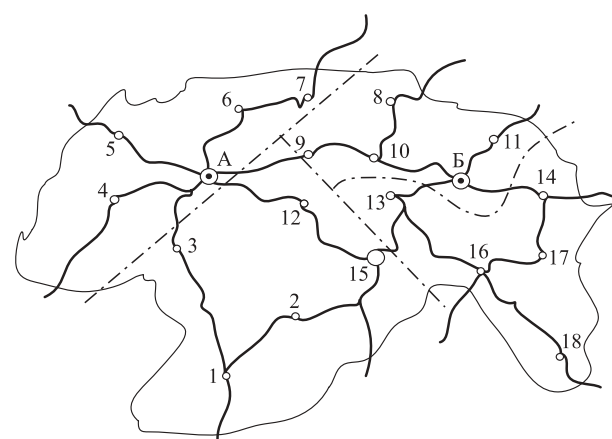


Рис. Б.5.6 Второй вариант разграничения районов обслуживания ПЧ_А, ПЧ_Б, ПЧ₁₅ и ПЧ₁₄

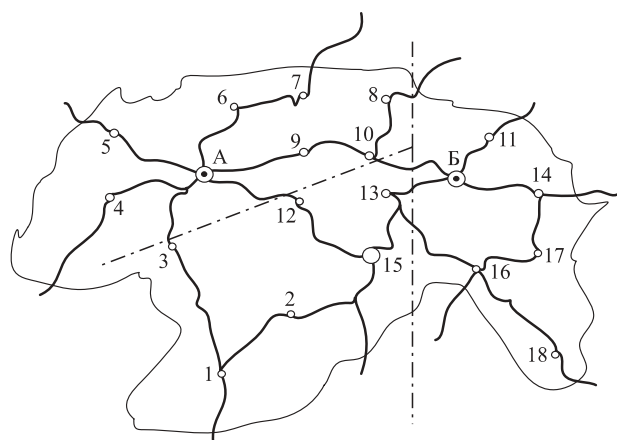


Рис. Б.5.4 Третий вариант разграничения районов обслуживания ПЧ_А, ПЧ_Б и ПЧ₁₅

Б.5.3 С учетом того что новую ПЧ планируется оборудовать в НП₁₅, требуется установить границы районов обслуживания ПЧ_А, ПЧ_Б и ПЧ₁₅.

Были предложены три возможных варианта новых районов обслуживания (рис. Б.5.2–Б.5.4) и рас-

считаны: по (Б.3) и (Б.4) — уровни пожароуязвимости НП, по (Б.5) и (Б.6) — эффект снижения общей пожароуязвимости ΔU , по (Б.7) и (Б.8) — равномерность нагрузки на ПЧ. Результаты расчетов приведены в табл. Б.5.4. Из данных табл. Б.5.4 видно, что перспективными представляются только варианты 1 и 3: в 1-м больше выигрыш по снижению общей уязвимости, в 3-м — больше равномерность распределения нагрузки на ПЧ.

Следует отметить, что при всех вариантах наиболее уязвимым остается НП₁₄. Поскольку он находится на границе АТЕ, при рассмотрении возможности оборудования четвертой ПЧ целесообразно согласовать это решение с администрацией соседней АТЕ.

Б.5.4 Поскольку наиболее уязвимым теперь является НП₁₄, принято решение разместить ПЧ в нем. Предложены два варианта размещения ПЧ₁₄ (рис. Б.5.5 и Б.5.6). В табл. Б.5.5 представлены результаты расчетов с использованием (Б.9) и (Б.10). Из них следует, что 1-й вариант предпочтительнее,

так как он обеспечивает и большее снижение уровня пожароуязвимости АТЕ, и большую равномер-

ность нагрузки на ПЧ. Наиболее пожароуязвимым теперь становится НП₁.

Таблица Б.5.4 Варианты районов обслуживания при $P = 3$

Вариант	ПЧ _А		ПЧ _Б		ПЧ ₁₅		Оценка эффекта
	НП	u_j	НП	u_j	НП	u_j	
1	3	0,1143	8	0,1300	1	0,4107	$U_3 = 3,6384$ $\Delta U = 0,9954$ $\sigma = 0,1992$ $\Delta_{\max} = 0,3900$
	4	0,2245	10	0,1321	2	0,1833	
	5	0,1129	11	0,3691	12	0,2264	
	6	0,1157	14	0,4500	13	0,1171	
	7	0,2195	17	0,1793	16	0,2614	
	9	0,2071			18	0,1848	
	$S_1 = 0,9941$		$S_2 = 1,2605$		$S_3 = 1,3838$		
2	4	0,2245	11	0,3691	1	0,4107	$U_3 = 3,9629$ $\Delta U = 0,6709$ $\sigma = 0,2426$ $\Delta_{\max} = 0,4207$
	5	0,1129	13	0,1121	2	0,1833	
	6	0,1157	14	0,4500	3	0,3043	
	7	0,2195	16	0,2564	12	0,2264	
	8	0,2050	17	0,1793			
	9	0,2071	18	0,1786			
	10	0,2221					
		$S_2 = 1,5455$		$S_3 = 1,1248$			
3			11	0,3691	1	0,4107	$U_3 = 3,9678$ $\Delta U = 0,6660$ $\sigma = 0,0993$ $\Delta_{\max} = 0,1914$
			14	0,4500	2	0,1833	
			16	0,2564	3	0,3043	
			17	0,1793	12	0,2264	
			18	0,1786	13	0,1171	
$S_1 = 1,2926$		$S_2 = 1,4333$		$S_3 = 1,2419$			

Примечание. Полужирным шрифтом выделены наиболее пожароуязвимые НП.

Таблица Б.5.5 Варианты районов обслуживания при $P = 4$

Вариант	ПЧ _А		ПЧ _Б		ПЧ ₁₅		ПЧ ₁₄		Оценка эффекта
	НП	u_j	НП	u_j	НП	u_j	НП	u_j	
1	3	0,1143	8	0,1300	1	0,4107	16	0,2414	$U_3 = 3,0971$ $\Delta U = 1,5367$ $\sigma = 0,1871$ $\Delta_{\max} = 0,4283$
	4	0,2245	9	0,2321	2	0,1833	17	0,1043	
	5	0,1129	10	0,1321	12	0,2264	18	0,1636	
	6	0,1157	11	0,3691	13	0,1171			
	7	0,2195							
	$S_1 = 0,7869$		$S_2 = 0,8633$		$S_3 = 0,9376$		$S_4 = 0,5093$		
2	4	0,2245	8	0,1300	1	0,4107	13	0,1871	$U_3 = 3,3571$ $\Delta U = 1,2767$ $\sigma = 0,2084$ $\Delta_{\max} = 0,4521$
	5	0,1129	9	0,2321	2	0,1833	16	0,2414	
	6	0,1157	10	0,1321	3	0,3043	17	0,1043	
	7	0,2195	11	0,3691	12	0,2264	18	0,1636	
	$S_1 = 0,6726$		$S_2 = 0,8633$		$S_3 = 1,1248$		$S_4 = 0,6964$		

Примечание. Полужирным шрифтом выделены наиболее пожароуязвимые НП.

**ВОПРОС:**

В подп. 6 п. 1.7.82 ПУЭ [1] говорится, что с целью основного уравнивания потенциалов воздухопровод подключается к шине РЕ (шина нулевого защитного проводника) электрического щита питания вентилятора. Согласно п. 1.7.137 [1] минимальное сечение соответствующего медного проводника должно быть не менее 6 мм². Однако в отдельных случаях мощность вентилятора может быть весьма малой, а питающий кабель, подводимый к электрическому щиту, может содержать РЕ-проводник. Сечение данного нулевого защитного проводника, выбранное по табл. 1.7.5 (п. 1.7.126) [1], может быть значительно меньше 6 мм² и не соответствовать требованиям п. 1.7.137 [1]. Допустима ли такая ситуация?

ОТВЕТ:

При выборе сечения защитных проводников уравнивания потенциалов, как и всяких иных проводников, учитываются два параметра: проводимость, зависящая от расчетного аварийного тока (тока короткого замыкания), и механическая прочность.

Проводимость защитных проводников уравнивания потенциалов принимается равной не менее половины проводимости соответствующего РЕ-проводника, обеспечивающего автоматическое отключение питания при повреждении изоляции.

Минимальные сечения по механической прочности для основной системы уравнивания потенциалов указаны в п. 1.7.137 [1], а для дополнительной — в п. 1.7.38 [1].

В вашем случае проводимость проводника уравнивания потенциалов должна быть не менее половины проводимости РЕ-проводника двигателя вентилятора и одновременно по условию механической прочности — не менее сечений, указанных в

пп. 1.7.126 и 1.7.127 [1], в зависимости от типа проводника и способа его прокладки.

**ВОПРОС:**

В подп. 6 п. 1.7.82 ПУЭ говорится о способе основного уравнивания потенциалов децентрализованных воздухопроводов. Можно ли указанное решение применять для других децентрализованных коммуникаций, например для труб автономной системы отопления или других систем?

ОТВЕТ:

Можно.

При этом в любом помещении все сторонние проводящие части, которые могут быть доступны для одновременного прикосновения, должны быть присоединены радиальным способом к одному общему проводнику уравнивания потенциалов, например к магистрали, или к другому проводнику, соответствующему требованиям пп. 543.2.2, 543.2.3 и 543.3.3 ГОСТ Р 50571.5.54–2013 (МЭК 60364-5-54:2011) [2], а также п. 1.7.121 [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
2. ГОСТ Р 50571.5.54–2013 (МЭК 60364-5-54:2011). Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов. — Введ. 01.01.2015. — М. : Стандартинформ, 2014.

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

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Вы можете присылать свои вопросы на электронную почту издательства (info@fire-smi.ru), и специалисты в области пожарной безопасности дадут Вам на них исчерпывающие и квалифицированные ответы.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана всеми авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой Госдепартамента США, 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, индекс, страну, 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 ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что 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 (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 150–200 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи. Метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не рекомендуется включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). 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.

2.7. Текст статьи. Текст должен быть набран через 1,5 интервала и представляться в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и др., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.п.).

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 представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. 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.

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.

Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикации цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 5 современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы не должно быть 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.disserscat.com>.

2.9. References (пристатейные списки литературы в транслитерации (на латинице) и на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо.

При переводе русскоязычного источника (книги, монографии, диссертации, электронного ресурса и пр.) приводится транслитерация фамилий и инициалов авторов, транслитерация названия источника и в квадратных скобках его перевод на английский язык, год, место издания, название издательства, количество страниц. Место издания должно быть указано на английском языке (Moscow, Saint Petersburg и т. п.). Транслитерированное название издания выделяется курсивом.

Если приводится русскоязычная статья в журнале, то, помимо транслитерации названия статьи и его перевода на английский язык, указанного в квадратных скобках, необходимо дать официальную английскую версию названия журнала (перевод обычно есть на сайте журнала). Если ее нет, то приводится обычная транслитерация. Указывается также год издания, том, номер выпуска, страницы статьи. Название издания выделяется курсивом.

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства (www.fire-smi.ru).

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций (<http://www.emerald-insight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>), а также программные средства для их формирования.

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. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

5. Не допускается направление в редакцию работ, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

6. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

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

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



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

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



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

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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



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

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

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство “ПОЖНАУКА” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2015 г., а также годовую подписку.

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал

ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ



ISSN 0869-7493

КУПОН '2015

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2015 г.)	5200		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (годовая подписка)	10400		

Для соискателей ученой степени кандидата и доктора наук действуют особые условия подписки!

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

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный
строительный университет

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.



Научно-исследовательские и сертификационные испытания:

- ♦ строительных материалов;
- ♦ строительных конструкций;
- ♦ огнезащитных составов;
- ♦ кабельных изделий;
- ♦ пенообразователей;
- ♦ фасадных систем.

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru