

1-2016

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**



**БЕЗОПАСНОСТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

**КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ПОДАВЛЕНИЕ ВОЗГОРАНИЯ  
МАСЛОНАПОЛНЕННОГО  
ТРАНСФОРМАТОРА  
ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ  
ВОДОЙ



## КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ДО 150 МИН

Состав толстослойный напыляемый  
НЕОФЛЭЙМ®516 Р (NEOFLAME®516 R)  
ТУ 1523-054-29346883-2015

- уникальная возможность получения толстослойного покрытия при распылении с помощью АВД Wagner более 3000 мкм мокрого слоя
- низкая теплопроводность
- низкий расход
- легкость и привлекательный внешний вид конструкций
- высокая производительность при выполнении работ
- транспортировка и выполнение работ при минусовых температурах

# ТЕПЛО ХИМ

## КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ДО 120 МИН

Состав огнезащитный каолиновый  
НЕОФЛЭЙМ®515 (NEOFLAME®515)  
ТУ 5760-051-29346883-2013

- коэффициент теплопроводности – 0,08 Вт/(м·К)
- пожаровзрывобезопасность при применении
- высокая производительность при выполнении работ
- реальный расход
- успешное применение на объектах



РЕКЛАМА

**огнезащита  
краски**

**+7 (495) 232-3399  
+7 (495) 956-0070**

**[www.tphm.ru](http://www.tphm.ru)  
[www.texon.ru](http://www.texon.ru)**

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

Выставка MIPS/SECURIKA 2016:  
Переезд в Экспоцентр, новые даты проведения,  
ребрендинг — все перемены к лучшему!

5

## ОГНЕЗАЩИТА

НАТЕЙКИНА Л. И., ПИМЕНОВА В. П.  
NEW! Конструктивная огнезащита НЕОФЛЭЙМ®  
ТЕПЛОУХОВ А. В., ЗВЕРЕВ В. Г., ГАРАЩЕНКО А. Н.  
Методика и результаты оценки влияния длительной  
эксплуатации конструкций на основные свойства  
вспучивающихся огнезащитных покрытий

7

ДАШКО Л. В., ЕЛИСЕЕВА И. А.,  
ДАШКО И. В., ПОНОМАРЕВА Н. Г.  
Анализ патентов и материалов заявок на изобретения,  
связанных с огнезащитой пенополистирола

9

КУЗНЕЦОВ Е. Б.  
Развитие “цивилизованной” конкуренции  
на рынке строительных материалов

17

26

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ШУТОВ Ф. А., КРУГЛОВ Е. Ю., АСЕЕВА Р. М.,  
СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б.  
Влияние теплоизоляции из полимерного пенокомпозита  
“Penocom” на огнестойкость ограждающих деревянных  
каркасных конструкций

28

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ПОЛАНДОВ Ю. Х., БАБАНКОВ В. А., ДОБРИКОВ С. А.  
Особенности развития газового взрыва в помещении  
при наличии смежной комнаты

38

ЕСИН В. М., КАЛМЫКОВ С. П.  
К вопросу расчета температуры продуктов горения,  
удаляемых из коридоров зданий

47

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

ДУШКИН А. Л., ЛОВЧИНСКИЙ С. Е., РЯЗАНЦЕВ Н. Н.  
Экспериментальные исследования метода подавления  
возгорания маслонаполненного трансформатора  
тонкораспыленной водой

54

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.  
Тушение пламени горючих жидкостей  
с высокой температурой вспышки методом  
перемешивания слоев с помощью воздуха  
и пеной низкой кратности (подслойным способом)

61

КАТТГЕ А., ДЕГАЕВ Е. Н.  
Влияние высоты подачи пены на оптимальную  
интенсивность подачи и минимальный удельный расход  
раствора пенообразователя

68

## ДИСКУССИИ

АФАНАСЬЕВ Н. В., ВАГАНОВА Д. В.  
Использование результатов аудита пожарной безопасности  
при страховании объектов недвижимости

73

## ВОПРОС – ОТВЕТ

76

## NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

MIPS/Securika 2016:  
Removal to Expocentre, new dates, revised exhibition  
concept, rebranding — all turns for the better!

## FIRE RETARDANCE

NATEYKINA L. I., PIMENOVA V. P.  
NEW! The constructive fire protection NEOFLAME®  
TEPLOUKHOV A. V., ZVEREV V. G., GARASHCHENKO A. N.  
Methodology and results of estimation of the influence  
of structures long-term exploitation on basic properties  
of the intumescent flame-retardant coatings

DASHKO L. V., ELISEEVA I. A.,  
DASHKO I. V., PONOMAREVA N. G.  
Analysis of patents and patent applications related  
to fire protection expanded polystyrene

KUZNETSOV E. B.  
Development of unfair competition  
in the market of construction materials

## FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

SHUTOV F. A., KRUGLOV E. Yu., ASEEEVA R. M.,  
SERKOV B. B., SIVENKOV A. B.  
Influence of polymeric foam composite  
“Penocom” on fire resistance of wood frame  
separating constructions

## FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

POLANDOV Yu. Kh., BABANKOV V. A., DOBRIKOV S. A.  
Features of influence of adjacent rooms on the development  
of gas explosion

ESIN V. M., KALMYKOV S. P.  
To the question of calculation of temperature of the products  
of burning deleted from corridors of buildings

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

DUSHKIN A. L., LOVCHINSKIY S. Ye., RYAZANTSEV N. N.  
Experimental research of oil filled  
transformer fire water mist suppression  
method

KOROLCHENKO D. A.  
Suppression of a flame of combustible liquids  
with high flashpoint by the method of agitating  
of layers using air and low expansion foam  
(sublayer method)

KATTGE A., DEGAEV E. N.  
Influence of total head of foam on optimum  
intensity and minimum particular expense  
solution size of foamer

## DISCUSSION

AFANASYEV N. V., VAGANOVA D. V.  
Use of results of audit  
of fire safety insurance real estate

## 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), в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям “Ulrich’s Periodicals Directory”. Переводные версии статей журнала входят в Международный реферативный журнал “Chemical Abstracts”.

Перепечатка материалов журнала “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.



MIPS/SECURIKA 2016: все перемены к лучшему!

**Том 25, № 1, 2016**

**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:**

**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, член-корреспондент Академии архитектурного  
 наследия (Россия)

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

**Тамразян А. Г.**, д. т. н., профессор,  
 действительный член ВАНКБ (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. Вересаева, д.10.

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

E-mail: [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru), [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru),  
[www.fire-smi.ru](http://www.fire-smi.ru), [www.firepress.ru](http://www.firepress.ru).

Подписано в печать 15.01.2016. Выход в свет 25.01.2016.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "УНИВЕРСАЛСЕРВИС"  
 (115193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 7, стр. 1).



NEW! Конструктивная огнезащита НЕОФЛЭЙМ®

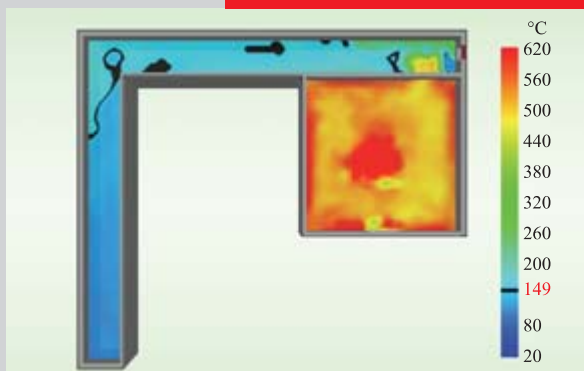
Стр. 5

Стр. 7



Особенности развития газового взрыва в помещении

Стр. 38



Стр. 47

К вопросу расчета температуры продуктов горения

Стр. 54



Тушение трансформатора тонкораспыленной водой

**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

"Pozharovzryvobezопасnost"  
("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 VINITI Database RAS  
and in Russian Science Citation Index.  
Information about the journal is annually  
published in "Ulrich's Periodicals Directory".

Translate version of articles "Fire  
and Explosion Safety" is included  
in Chemical Abstract Service (CAS).

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 15.01.2016

Date of publication 25.01.2016

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:**

**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 S. 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, Corresponding Member of Academy of Architectural Heritage (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)

**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)



## ВЫСТАВКА MIPS/SECURIKA 2016: ПЕРЕЕЗД В ЭКСПОЦЕНТР, НОВЫЕ ДАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ, РЕБРЕНДИНГ — ВСЕ ПЕРЕМЕНЫ К ЛУЧШЕМУ!

**С** 14 по 17 марта 2016 г. в ЦВК “Экспоцентр” на Красной Пресне состоится ежегодное знаковое событие в сфере безопасности — 22-я Международная выставка MIPS/Securika. О переменах, происшедших на выставке за последние два года, мы поговорим с директором MIPS/Securika **НАТАЛЬЕЙ ВИНОГРАДОВОЙ**.

**Традиционно мы начинаем нашу беседу с вопроса о том, что нового происходит в выставочном бизнесе. Последние два кризисных года не могли не сказаться на процессе организации выставок. Как кризис отразился на Вашем проекте?**

Выставочный бизнес целиком отражает состояние участников рынка, а те, в свою очередь, находятся под прессингом негативных факторов в экономике. Экономическая ситуация весьма нестабильная, надежды возлагаются только на рост цен на нефть. 20 % общего объема экономики России приходится на внутренние инвестиции, т. е. на вложения компаний и предприятий в собственное развитие. Пока признаков возобновления роста мы не видим, и никто не может чувствовать себя ни в чем уверенно: участники — в заказах, а мы, в свою очередь, в том, что снова увидим их на своей выставке. Некоторые компании решают уйти с выставок и продвигать свою продукцию другими способами, другие — напротив, расширяют стенды и стараются вызвать из выставки максимум. Большинство наших постоянных компаний-участников видят несомненные плюсы в участии в выставке, понимают, что это единственное место, где за короткий период собирается такое количество клиентов, как старых, так и новых, поэтому они и остаются с нами. Отмечается также прирост количества новых небольших компаний, дебютантов выставки. А вот участие крупных международных компаний осложняется тем, что маркетинговые бюджеты, которые формируются в головных офисах в Европе, сильно урезаются в связи с кризисом. То, что выставки, — это последнее, на чем стараются “экономить” компании, косвенно подтверждается тем фактом, что за последние три года в Москве не закрылась ни одна из пяти выставок по безопасности. Они могли сокращаться по площади и количеству участников, несколько видоизменяться, но не прекращали своего существования, потому что формат выставки как инструмента продвижения наиболее эффек-

тивен. Участники это понимают. На посетителях кризис, несомненно, тоже сказывается. Региональные и международные делегации стали меньше по количеству специалистов. Если раньше на выставку выезжали по три-четыре человека от организации, то теперь командируют только одного-двух.

**Вы сказали о “видоизменении”. Сразу вспоминается, что в 2016 году на MIPS будут сразу три новшества: название — Securika, место проведения — Экспоцентр и время проведения — март. Зачем нужны эти перемены?**

Начну с названия. Организатор выставки — компания ITE проводит несколько выставок по безопасности в России и странах СНГ. Появилась необходимость объединить все проводимые нами выставки по этой тематике в один бренд, который бы помог в продвижении этих выставок среди участников, усилил эффект кросс-промоушена и повысил узнаваемость выставок среди посетителей. На первые два года аббревиатура MIPS остается. Мы говорим и пишем MIPS/Securika. Новый логотип объединяет и старое, и новое названия. В будущем мы хотим отойти от аббревиатур. Согласитесь, Securika Moscow, Securika Kazakhstan, Securika Novosibirsk звучит лучше, чем MIPS, AIPS, SIPS. Безусловно, MIPS — одна из самых узнаваемых аббревиатур на рынке индустрии безопасности, но кто может теперь сказать, как она расшифровывалась? Многие пишут эту аббревиатуру кириллицей — МИПС, хотя изначально она означает Moscow International Protection Show. Многие считают, что убирать слово MIPS — авантюра, но я вас уверяю, что через несколько лет все будет спокойно воспринимать Securika Moscow и забудут MIPS.

Почему мы возвращаемся в Экспоцентр? В 2012 г., переезжая на ВВЦ, в 75-й павильон, мы понимали, что это не последний наш переезд. Выставка ежегодно расширяется, и это привело к тому, что мы перестали там

помещаться. Оставшись там, мы не смогли бы давать компаниям возможность увеличить площадь стендов, выделять площади для новых компаний, более четко распределять экспозицию по секциям. Кроме того, для нас первостепенное значение имеет удобство площадки для экспонентов и посетителей и тот сервис, который она предоставляет. В 2013–2014 гг. все удобства на заезде, монтаже и демонтаже были, но со временем уровень сервиса площадки начал падать, появились трудности, что сказалось на нас и наших клиентах.

Почему март? Проанализировав отзывы участников, мы выяснили, что после проведения выставки в апреле многие компании-участники из-за близости майских праздников часто не успевали обработать большое количество контактов, установленных на выставке, и часть из них “терялась”, связи не успевали укрепиться. Сейчас такого разрыва во времени не будет, а это значит, что и участники, и посетители получат больше возможностей для делового взаимодействия.

#### **Что нового будет на выставке? Будут ли на MIPS/Securika представлены новые направления?**

В этом году, благодаря переезду в Экспоцентр, где мы будем занимать два павильона — № 2 и 8, которые находятся под одной крышей, мы сможем без особых потерь и трудностей распределить экспозицию по секциям. Каждая секция будет занимать отдельный зал, что упростит для посетителей навигацию по выставке и ознакомление с теми продуктами, которые им интересны. Такое деление на секции будет введено на выставке впервые. Мы представим шесть секций: видеонаблюдение, системы контроля и управления доступом, защита периметра, противопожарная защита, сигнализация и оповещение, а также новый раздел, посвященный автоматизации зданий и системам “Умный дом”. Автоматизация зданий и системы “Умный дом” — это популярный тренд на рынке. Согласно опросу посетителей MIPS’2015 более 6000 специалистов интересуются данной тематикой.

#### **Какие еще мероприятия состоятся в рамках деловой программы выставки?**

В поисках актуальных тем для деловой программы выставки MIPS/Securika мы поняли: на нашем рынке не существует мероприятия, которое бы давало возможность узнать о том, что в целом происходит с индустрией безопасности. Есть лишь отдельные статьи, посвященные развитию видеонаблюдения или системам контроля доступа. В связи с этим возникла идея организовать конференцию, на которой участники смогут узнать о главных тенденциях развития рынка технических средств безопасности, а мировые гуру и практики российского рынка представят свое видение этого процесса. Имя этому событию — “Будущее рынка систем безопасности”. Мы уверены, что событие такого масштаба, с известными спикерами, несомненно, вызовет интерес как у экспонентов, так и у посетителей.

Из года в год в рамках деловой программы выставки проводится конференция “Облачные технологии в мониторинге и безопасности”, которая ежегодно привлекает большое число специалистов. Рынок облачных

технологий находится еще в начале своего бурного развития, но появление новых продуктов и решений, построенных на их основе или частично с их использованием, стремление компаний сферы безопасности открывать и развивать новые направления бизнеса, появление новых моделей партнерства говорят о его перспективности и высоком потенциале. Традиционно в партнерстве с Федеральной палатой пожарно-спасательной отрасли мы организуем конференцию “Актуальные вопросы обеспечения пожарной безопасности в России”. Мероприятие по этой довольно острой проблеме обязательно состоится, но в формате дискуссии с участием ограниченного круга экспертов. Участники выставки проведут собственные семинары, презентации и мастер-классы.

#### **Сейчас при регистрации и получении билета на сайте просят ввести код. Расскажите об этом нововведении.**

Это незначительные изменения в процессе регистрации, которые на специалиста, желающего посетить нашу выставку, не повлияют. Мы каждый год проводим большую, кропотливую работу по отбору и приглашению на выставку наиболее заинтересованных в продукции наших участников специалистов. Для того чтобы определить эффективность каналов продвижения и свести к минимуму количество случайных людей, мы вводим систему кодов. При регистрации на сайте необходимо ввести код, который посетитель выставки может получить из наших предвыставочных рассылок или запросить у любого из участников выставки (они будут размещать их на своих сайтах). В целом процедура регистрации остается прежней: заполняем анкету, вводим код, распечатываем электронный билет и приходим с ним на выставку. Обменивать электронный билет на бейдж нет необходимости, с ним сразу можно проходить в выставочные залы, поэтому никакой задержки на регистрации не будет. Если у кого-то не окажется электронного билета, он сможет приобрести его в кассе.

#### **В завершение нашего разговора несколько слов участникам и гостям выставки.**

Пользуясь случаем, благодарим компанию “Бевард”, которая в этом году уже в третий раз выступает генеральным партнером выставки MIPS/Securika. Хотелось бы еще раз пригласить всех специалистов посетить выставку MIPS/Securika на новой площадке ЦВК “Экспоцентр”. Напоминаю, что выставка состоится с 14 по 17 марта, в павильонах № 2 и 8. Около 500 ведущих отечественных и зарубежных компаний из 24 стран мира представят свои новинки. В нынешних экономических условиях MIPS/Securika — самая представительная площадка. Приглашаем всех заинтересованных специалистов ознакомиться с разработками компаний, вживую протестировать их, встретиться со специалистами, пообщаться, заключить новые партнерские соглашения, увидеть своими глазами, в каком состоянии сейчас находится рынок систем безопасности. Выставка MIPS/Securika с ее масштабом и представительностью — это действительно зеркало рынка (и это не фигура речи). До встречи на выставке!



## NEW! КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА НЕОФЛЭЙМ®

© Л. И. НАТЕЙКИНА (e-mail: lyudmila@texon.ru)

© В. П. ПИМЕНОВА, канд. хим. наук (e-mail: pimenova@texon.ru)

С учетом требований Федерального закона от 22.07.2008 № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” и современного рынка огнезащиты нашими техническими специалистами для конструктивной огнезащиты разработаны новые технологичные толстослойные огнезащитные составы, которые не требуют специального монтажа на конструкции и наносятся агрегатами высокого давления. Применение в рецептурах огнезащитных материалов наполнителей с низкой теплопроводностью, изготавливаемых по инновационным технологиям, и наполнителей, обеспечивающих высокий абляционный эффект при воздействии высоких температур, позволяет получить высокотехнологичное огнезащитное покрытие с низкой теплопроводностью исходного покрытия, обеспечивающее необходимую огнезащиту в условиях стандартного пожара.

В настоящее время на производство поставлен новый огнезащитный материал для конструктивной огнезащиты металлоконструкций с приведенной толщиной металла (ПТМ) менее 5,8 мм — обмазка огнезащитная каолиновая НЕОФЛЭЙМ®515 (NEOFLAME®515) на основе водного пленкообразователя и функциональных минеральных наполнителей. Покрытие на ее основе имеет низкую теплопроводность — 0,08 Вт/(м·К).

Новый материал был успешно применен на объектах для конструктивной огнезащиты металлоконструкций с ПТМ < 5,8 мм.

Данный состав имеет высокие технологические свойства, что позволяет наносить его различными способами: кистью, шпателем или агрегатами безвоздушного распыления.

### Отличительными достоинствами обмазки НЕОФЛЭЙМ®515 (NEOFLAME®515) являются:

- высокая огнезащитная эффективность: огнезащита металлоконструкций — до 120 мин (табл. 1);
- удобство и простота применения на объекте;
- возможность толстослойного напыления с помощью АВД Wagner;
- низкая теплопроводность покрытия;
- пожаровзрывобезопасность при применении;
- возможность выполнения работ внутри помещений без принудительной вентиляции;
- высокая производительность при выполнении работ;
- расход 1,9 кг/м<sup>2</sup> для получения огнезащитного покрытия толщиной сухого слоя 1 мм.

Успешно завершились сертификационные испытания нового состава толстослойного напыляемого

**Таблица 1.** Огнезащитные характеристики покрытия на основе НЕОФЛЭЙМ®515 (NEOFLAME®515)

| Показатель                        | Огнезащитная эффективность, мин |      |      |       |       |      |
|-----------------------------------|---------------------------------|------|------|-------|-------|------|
|                                   | 90                              |      |      | 120   |       |      |
| ПТМ, мм                           | 2,0                             | 3,4  | 12,0 | 2,0   | 3,4   | 12,0 |
| Толщина сухого покрытия, мм       | 5,21                            | 4,00 | 2,13 | 7,37  | 5,65  | 3,01 |
| Расход обмазки, кг/м <sup>2</sup> | 9,90                            | 7,59 | 4,04 | 14,01 | 10,74 | 5,72 |

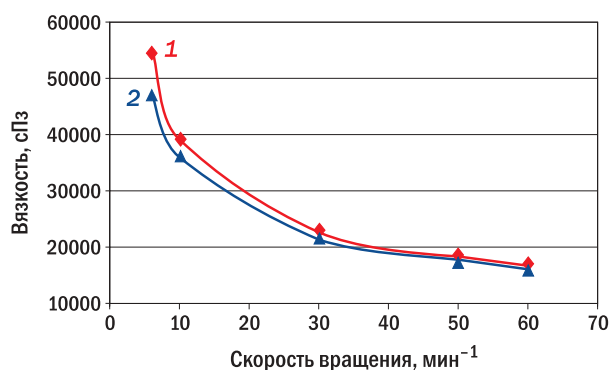
**Таблица 2.** Огнезащитные характеристики покрытия на основе НЕОФЛЭЙМ®516 Р (NEOFLAME®516 R)

| Показатель                        | Огнезащитная эффективность, мин |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | 90                              |      |      | 120  |      |      | 150  |      |      |
| ПТМ, мм                           | 2,4                             | 3,4  | 4,2  | 3,4  | 5,8  | 7,2  | 4,2  | 5,8  | 7,2  |
| Толщина сухого покрытия, мм       | 4,76                            | 3,90 | 3,51 | 5,07 | 3,88 | 3,48 | 6,30 | 5,36 | 4,81 |
| Расход состава, кг/м <sup>2</sup> | 7,09                            | 5,81 | 5,23 | 7,56 | 5,78 | 5,19 | 9,39 | 7,99 | 7,17 |

НЕОФЛЭЙМ®516 Р (NEOFLAME®516 R) для конструктивной огнезащиты на основе раствора смолы в органическом растворителе, огнезащитные свойства которого обусловлены применением наполнителей с низкой теплопроводностью, изготавливаемых по инновационным технологиям, и наполнителей, обеспечивающих при нагревании в условиях стандартного пожара высокий абляционный эффект.

**Отличительными достоинствами НЕОФЛЭЙМ®516 Р (NEOFLAME®516 R) являются:**

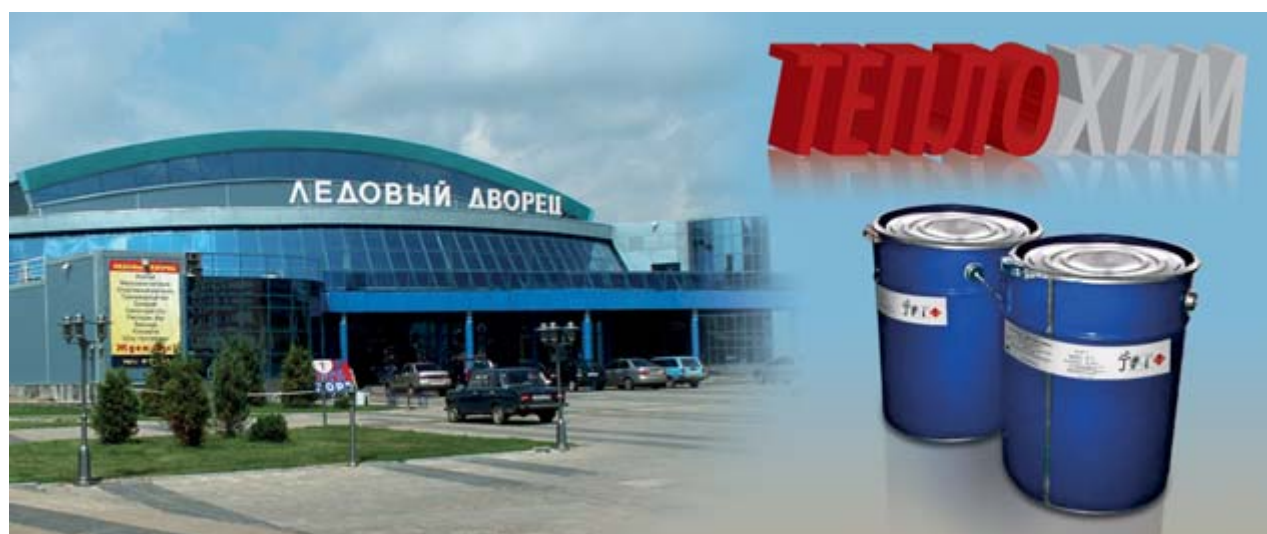
- уникальная возможность получения толстослойного покрытия путем распыления состава в один слой с помощью АВД Wagner;
- толщина нестекающего мокрого слоя более 3000 мкм;
- высокая огнезащитная эффективность: огнезащита металлоконструкций — до 150 мин (табл. 2);
- низкая теплопроводность;
- низкий расход — 1,49 кг/м<sup>2</sup> для получения огнезащитного покрытия толщиной сухого слоя 1 мм;
- легкость покрытия и привлекательный внешний вид конструкций;
- высокая производительность при выполнении работ;
- возможность транспортировки и выполнения работ по нанесению при отрицательных температурах (транспортировка — до минус 25 °С, нанесение — до минус 10 °С).



Кривые течения состава НЕОФЛЭЙМ®516 Р (NEOFLAME®516 R) (BROOKFIELD RVDV-II + Pro (шпиндель 06)) через 12 сут после изготовления: 1 — прямой ход; 2 — обратный ход

Главной отличительной особенностью наших новых материалов серии НЕОФЛЭЙМ® для конструктивной огнезащиты является технологичность использования их на объекте. Они поставляются на объект готовыми к применению, не требуют специального монтажа, наносятся агрегатами высокого давления.

Уникальная технологичность составов достигнута за счет применения современных функциональных добавок и специальных наполнителей, позволяющих получить высококачественные текучие пасты (см. рисунок) с определенным течением, обеспечивающим распыление и возможность получения толстослойного покрытия на вертикальной поверхности



**А. В. ТЕПЛОУХОВ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,  
АО "Корпорация "МИТ" (Россия, 127273, г. Москва, Березовая аллея, 10;  
e-mail: avt3108@mail.ru)

**В. Г. ЗВЕРЕВ**, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией,  
Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск,  
просп. Ленина, 36; e-mail: zverev@niipmm.tsu.ru)

**А. Н. ГАРАЩЕНКО**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник,  
ОАО "ЦНИИСМ" (Россия, 41371, Московская обл., г. Хотьково,  
ул. Заводская, 1; e-mail: a.n.gar@mail.ru)

УДК 624.014:678.049.91

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Предложена методика оценки влияния длительной эксплуатации конструкций на основные свойства вспучивающихся огнезащитных покрытий, основанная на экспериментальной оценке изменения кратности вспучивания покрытий и степени их термического разложения в зависимости от сроков эксплуатации и учета этих показателей при математическом моделировании и проектировании огнезащиты. Проведено апробирование методики на примере состава СГК-2. Для оценки изменения показателей вспучивания, термического разложения, а также основных физико-механических свойств проведены эксперименты на образцах, прошедших ускоренные климатические испытания. Представлены результаты прогнозирования огнестойкости строительных конструкций из стали, защищенных покрытием СГК-2, при стандартном температурном режиме пожара на период эксплуатации до 25 лет.

**Ключевые слова:** огнезащита; анализ; вспучивающиеся покрытия; огнезащитное покрытие; эксплуатация конструкций.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.9-16

### Введение

В настоящее время при экспериментальных исследованиях и проектировании средств огнезащиты строительных конструкций, а также конструкций и изделий специального назначения практически не рассматривается возможное влияние длительной эксплуатации (т. е. эксплуатации в течение жизненного цикла) разрабатываемых конструкций и изделий на огнезащитную эффективность и свойства используемых материалов и покрытий. Это, естественно, касается и огнезащитных вспучивающихся покрытий (ОВП), большинство которых имеют полимерную основу и подвержены старению [1]. Очевидно, что степень влияния длительной эксплуатации на огнезащитную эффективность может оцениваться при испытаниях металлоконструкций с конкретным средством огнезащиты в огневых печах по стандартизованным методикам. Однако это дорогостоящие испытания, которые требуют изготовления образцов конструкций с огнезащитой, состаренной с учетом необходимого периода эксплуатации.

Помимо огнезащитной эффективности, чрезвычайно важное значение имеет оценка изменения со временем физико-механических и эксплуатационных свойств огнезащитных материалов. Известно, например, что в процессе эксплуатации строительных объектов фиксировались случаи отслоения ОВП из-за снижения адгезии к металлоконструкциям. Это свидетельствует о том, что, помимо контроля за качеством применяемых материалов, соблюдением технологии их нанесения и условий эксплуатации, необходима оценка изменения со временем всех основных огнезащитных и эксплуатационных свойств ОВП. Исследования перечисленных свойств должны проводиться для различных материалов, из которых должны выбираться материалы с наиболее приемлемыми и стабильными показателями.

Все вышесказанное свидетельствует об актуальности выработки единого подхода к оценке влияния длительной эксплуатации конструкций на основные свойства вспучивающихся огнезащитных покрытий. При этом необходимо опираться на относи-

тельно недорогие и простые методики лабораторных исследований образцов, прошедших ускоренные климатические испытания. При подготовке соответствующих методик к применению целесообразно использовать задел, накопленный при отработке изделий военной техники, для которых подтверждение характеристик материалов с учетом требуемых сроков их эксплуатации является обязательным.

В настоящей статье приведена методика по оценке влияния длительной эксплуатации металлических конструкций на огнезащитную эффективность вспучивающегося покрытия СГК-2, используемого для защиты изделий военной техники и конструкций строительных объектов, и представлены полученные в экспериментах результаты ее реализации.

### Состояние вопроса

На сегодняшний день отсутствует общепринятая методика, позволяющая прогнозировать изменение огнезащитной эффективности материалов и огнестойкости конструкций в процессе эксплуатации. Контроль свойств огнезащитных покрытий после их нанесения сводится к визуальным наблюдениям за состоянием материала (наличие отслоений, трещин и пр.) и оценке уровня адгезии к подложке. Этого явно недостаточно, так как в процессе эксплуатации возможны изменения структуры покрытия на молекулярном уровне без проявления каких-либо внешних признаков.

В технической литературе ранее уже рассматривалась возможность оценки долговечности покрытий с помощью методов термического анализа. Однако оказалось, что на основании данных термического анализа материалов в процессе эксплуатации (либо после ускоренных климатических испытаний) можно только установить факт изменения свойства материала, но выполнить при этом количественную оценку (даже в случае существенных изменений) крайне затруднительно. Кроме того, по одному изменению массы материала нельзя однозначно судить об изменении величины вспучивания покрытия, за счет которого в значительной степени обеспечивается огнезащитная эффективность. Тем не менее данные методы, несомненно, применимы для идентификации материалов [2–4].

В качестве альтернативы дорогостоящим испытаниям конструкций с огнезащитой в огневых печах могут рассматриваться лабораторные испытания. Так, установка для проведения испытаний по методике [5] представляет собой муфельную печь с нагревательными элементами, с помощью которых реализуется подходящий режим нагрева, в частности стандартный тепловой. Широкими возможностями по воспроизведению необходимого уровня нагрева образцов и фрагментов конструкций обла-

дают стенды лучистого нагрева [6]. Такой подход позволяет получить требуемый объем информации при хорошей воспроизводимости результатов и значительно меньших материальных и временных затратах, чем при испытаниях в огневых печах.

Исследование существующих ОВП в процессе эксплуатации предполагает изучение широкого спектра их свойств, влияющих на огнезащитную эффективность материала и его эксплуатационные характеристики. Исследования необходимо проводить на образцах материала, прошедших климатические испытания [7], находящихся на длительном хранении или работающих в составе конструкций в реально складывающихся условиях.

В настоящее время разработаны методики расчетов, позволяющие моделировать процесс работы вспучивающихся покрытий, оценивать их огнезащитную эффективность и определять необходимую толщину огнезащиты с учетом возможного изменения их свойств [7–11]. Как показали результаты математического моделирования тепломассопереноса в ОВП, их эффективность в значительной степени зависит от изменения толщины вспученного слоя, а в число наиболее значимых параметров входят кратность вспучивания и температура начала интенсивного вспучивания [10, 12]. Для учета кратности вспучивания может использоваться методика испытаний образцов в мерных трубках из термостойкого стекла, нагрев которых осуществляется в муфельной печи [13], а также методика, предусматривающая испытания образцов на установке (стенде) лучистого нагрева [6]. Необходимо также определение потери массы материала, которое может быть осуществлено традиционными методами термического анализа.

### Цель и задачи исследований

Целью работы является создание и апробирование методики оценки влияния длительной эксплуатации конструкций на огнезащитную эффективность вспучивающихся покрытий на примере состава СГК-2. В качестве объекта исследований выбраны образцы в виде стальных пластин с нанесенным на них слоем огнезащитного покрытия СГК-2 толщиной 2 мм. Эффективность покрытия и его стабильность оцениваются на период эксплуатации до 25 лет. Рассматривается стандартный температурный режим пожара; предельно допустимая температура для металлоконструкций принимается равной 500 °С.

### Результаты исследований

Особенности терморасширяющихся материалов не позволяют напрямую применять стандартные методики теплофизического эксперимента и дела-

ют невозможным использование стандартного промышленного оборудования. Отмечая значимость влияния процесса вспучивания ОВП на его огнезащитную эффективность, для исследований применяли методику, основанную на термостатировании образцов в муфельной печи с дискретным шагом на заданном интервале температур [13].

Схема проведения испытаний приведена на рис. 1. Образцы, представляющие собой двухслойную систему *покрытие – подложка*, помещаются в мерные трубки с плоским дном из термостойкого стекла. Наличие подложки необходимо для моделирования реальной картины эксплуатации покрытия. Воздействие температуры на систему приводит к изменению состояния вспучивающегося материала как по объему, так и по массе. Так как расширение материала происходит в одном и том же направлении — вдоль трубки, изменение объема легко фиксируется по толщине образца покрытия. Используя стандартное лабораторное оборудование, достаточно просто определить искомые характеристики: относительное изменение толщины или кратность вспучивания  $\theta$  и относительное изменение массы  $m/m_0$  для каждого значения температуры термостатирования  $T$ :

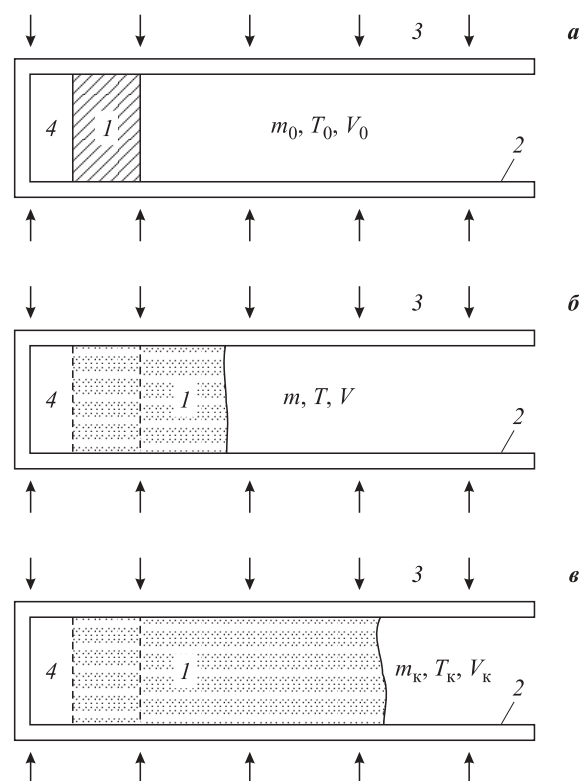
$$\theta(T) = \frac{dh}{h_0}; \quad \bar{m}(T) = \frac{m}{m_0}; \quad dh(T) = h - h_0,$$

где  $h, m$  — толщина и масса образца покрытия; индекс “0” соответствует начальным значениям.

Совокупность указанных показателей ( $\theta, m/m_0$ ) индивидуально характеризует соответствующую реакцию вспучивающегося огнезащитного материала на изменение термодинамического состояния. Для адекватного моделирования процессов тепло-массообмена в защищаемых конструкциях с учетом времени их эксплуатации необходимо определить показатели стабильности этих характеристик с использованием методики проведения ускоренных климатических испытаний (УКИ), имитирующих 5, 10, 15, 20 и 25 лет эксплуатации ОВП [14].

Искусственному старению на заданный период эксплуатации подвергали стальные пластины с геометрическими размерами  $200 \times 200 \times 1$  мм, на которые было нанесено огнезащитное покрытие СГК-2 толщиной около 2 мм. После этого из пластин торцевой фрезой вырезали таблетки диаметром примерно 17,5 мм. Подготовленные таким образом образцы материала помещали на дно цилиндрических мерных трубок, внутренний диаметр которых на 0,1–0,2 мм превышал диаметр таблетки с подложкой.

Для проведения экспериментов использовали муфельную печь, обеспечивающую нагрев до  $700^\circ\text{C}$  с шагом  $25^\circ\text{C}$ . Необходимый температурный режим



**Рис. 1.** Схема проведения эксперимента и различные физико-механические состояния образца ОВП на подложке при термостатировании: а — начальное; б — текущее (умеренные температуры); в — конечное (высокие температуры); 1 — образец (вспученный слой); 2 — цилиндр из термостойкого стекла; 3 — тепловой поток; 4 — подложка;  $m, T, V$  — текущие значения массы, температуры и объема образца; индексы “0” и “к” соответствуют начальным и конечным значениям указанных характеристик

в печи поддерживался автоматически. Цилиндры с образцами устанавливали в муфельную печь горизонтально и выдерживали в течение 30 мин при заданной температуре термостатирования.

Воздействие температуры на образец приводило к изменению объема и массы вспучивающегося покрытия СГК-2 на подложке. При температурах порядка  $250^\circ\text{C}$  имело место заметное изменение объема материала с образованием относительно плотной пористой структуры. При термостатировании покрытия при температурах более  $300^\circ\text{C}$  начиналась вторая стадия вспучивания, характеризующаяся значительным увеличением объема (почти в 20 раз) и образованием рыхлой пористой структуры. В интервале температур от  $300$  до  $450^\circ\text{C}$  происходил активный выход газообразных продуктов разложения и, как следствие, потеря массы образца покрытия. Об этом можно было судить по изменению цвета стеклянных трубок. При температуре выше  $450^\circ\text{C}$  наблюдалось выгорание конденсированных продуктов разложения на стенках трубки.

Для исключения влияния случайных факторов и оценки погрешности эксперимента при одной и

той же температуре одновременно выдерживали по 3–5 образцов на каждой стадии УКИ при варьировании толщины покрытия СГК-2 от 1,8 до 2,2 мм. Было установлено, что в условиях однородного изотермического нагрева относительное изменение объема и массы образцов не зависит от их начальной толщины и диаметра, что отвечает понятию элементарного объема материала и физической природе процесса вспучивания.

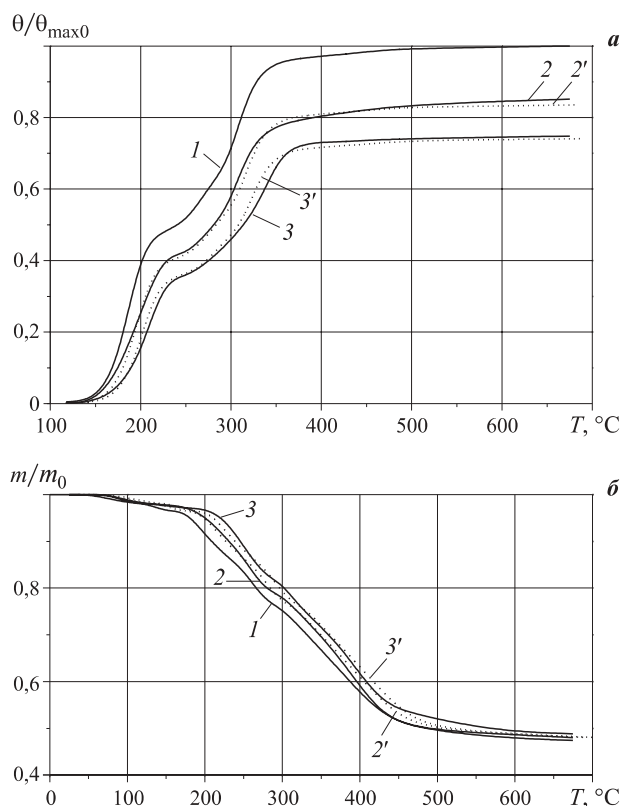
Вспучивание приводит к образованию рыхлой (пористой) структуры (см. рис. 1), большую часть объема которой занимает газовая фаза. Ввиду этого для объективной характеристики состояния образца использовали текущие значения плотности и пористости пенококса, обусловленные только процессами вспучивания и потери массы исходного твердого материала.

На рис. 2, исходя из постановки задачи, представлены результаты экспериментальных исследований в виде удобных для анализа кривых  $\theta$  и  $m/m_0$ , соответствующих времени эксплуатации 0, 15 и 25 лет; при этом кратность вспучивания  $\theta$  была отнесена к своему максимальному значению  $\theta_{\max 0} = 25,0$  для исходного образца до проведения УКИ.

Кривые на рис. 2,а свидетельствуют о том, что вспучивание материала СГК-2 носит двухстадийный характер, который остается неизменным в процессе эксплуатации. Первая стадия соответствует диапазону температур от 150 до 250 °С, вторая активно протекает при температурах 250–400 °С. Далее покрытие расширяется слабо, и равновесная кривая вспучивания выходит на свое асимптотическое значение.

Из анализа кривых относительного изменения массы материала СГК-2 (см. рис. 2,б) следует, что наиболее активно термохимическое разложение проходит в диапазоне температур от 200 до 450 °С. При более высоких температурах процесс стабилизируется, выход коксового остатка остается неизменным и составляет порядка 0,5.

Экспериментальные исследования показали, что при проведении климатических испытаний, имитирующих эксплуатацию материала металлоконструкций с огнезащитой, происходит незначительный сдвиг всех кривых исследуемых характеристик в высокотемпературную область. При этом наблюдается некоторое уменьшение кратности вспучивания покрытия. Причины такого поведения кривых вспучивания и изменения массы, вероятно, определяются процессами структурирования полимерного материала [1]. По мере увеличения времени эксплуатации выделяются легколетучие газообразные вещества, что ведет к некоторому упрочнению структуры покрытия и, как следствие, к снижению кратности вспучивания и сдвигу кривых по температуре.



**Рис. 2.** Относительное изменение кратности вспучивания (а) и массы (б) материала СГК-2 в зависимости от температуры термостатирования до эксплуатации (1), после 15 лет (2, 2') и 25 лет (3, 3') эксплуатации: 1–3 — эксперимент; 2', 3' — расчет

На основе полученных экспериментальных данных были определены показатели стабильности рассматриваемых характеристик  $I_{\bar{m}}$  и  $I_{\theta}$ . Для их определения предложены следующие функциональные зависимости от времени эксплуатации конструкций:

$$I_{\theta}(T, t_{\text{exp}}) = \frac{\theta(T + at_{\text{exp}})}{\theta(T)} e^{-bt_{\text{exp}}}; \quad (1)$$

$$I_{\bar{m}}(T, t_{\text{exp}}) = \frac{\bar{m}(T + ct_{\text{exp}})}{\bar{m}(T)}, \quad (2)$$

где  $a = 0,6$ ;  $b = 0,012$ ;  $c = 1,2$ .

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  в зависимостях (1) и (2) определены путем аппроксимации результатов, представленных на рис. 2.

Необходимо отметить, что предложенные функциональные зависимости хорошо согласуются с имеющимися представлениями о старении конструкционных материалов [1] и могут быть использованы для широкого класса огнезащитных покрытий на основе полимерных связующих с определением значений соответствующих коэффициентов, входящих в выражения (1) и (2).

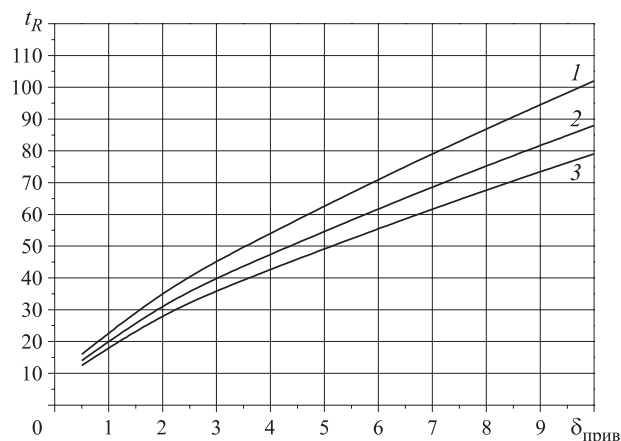
Проведены расчетные оценки, демонстрирующие степень влияния времени эксплуатации конструкций

на огнезащитную эффективность покрытия СГК-2. Для расчета времени достижения конструкцией с различной приведенной толщиной металла  $\delta_{\text{прив}}$  критической температуры  $t_R = 500^\circ\text{C}$  использовалась методика теплотехнических расчетов [15], разработанная в ЗАО НПП «Спецэнерготехника» и согласованная со Всероссийским научно-исследовательским институтом противопожарной обороны МЧС России. В результате параметрических расчетов были получены и приведены в методике [15] номограммы, представляющие собой зависимости  $t_R$  от  $\delta_{\text{прив}}$  для различных значений толщины покрытия СГК-2. На основании полученных соотношений для  $\bar{m}$  и  $\theta$  определены зависимости  $t_R$  от  $\delta_{\text{прив}}$  для покрытия толщиной 2 мм с учетом сроков эксплуатации конструкции 15 и 25 лет соответственно (рис. 3).

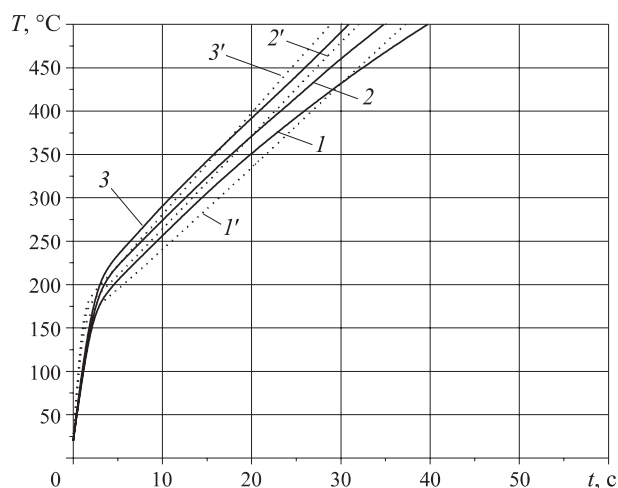
Анализ зависимостей, приведенных на рис. 3, показывает, что максимальное падение огнезащитной эффективности ОВП СГК-2 толщиной 2 мм достигает почти 25 %.

Для получения объективной оценки изменения огнезащитной эффективности в процессе эксплуатации покрытия были проведены испытания образцов состава СГК-2 толщиной 2 мм на установке (стенде) лучистого нагрева СИН-1 [6]. Покрытие наносили на стальные пластины толщиной 2 мм. Образцы подвергали искусственному старению по методике УКИ. На рис. 4 представлены результаты измерения температуры пластин при воспроизведении на стенде лучистого нагрева условий воздействия на них при стандартном температурном режиме пожара, а также результаты расчетов с учетом предложенных функциональных зависимостей (1) и (2) для указанных условий испытаний.

Анализ расчетных и экспериментальных зависимостей, приведенных на рис. 4, свидетельствует



**Рис. 3.** Зависимость времени достижения конструкцией из стали критической температуры  $t_R = 500^\circ\text{C}$  от приведенной толщины металла при толщине покрытия СГК-2, равной 2 мм, до эксплуатации (1), после 15 лет (2) и 25 лет (3) эксплуатации



**Рис. 4.** Зависимости температуры стальной пластины толщиной 2 мм с покрытием СГК-2 от времени нагрева на установке СИН-1, полученные экспериментально (1–3) и расчетом (1'–3') для конструкции до эксплуатации и после 15 и 25 лет эксплуатации соответственно

об их удовлетворительном согласовании. Сравнение кривых 1 и 3 показывает, что в данном случае снижение огнезащитной эффективности покрытия СГК-2, характеризуемой временем достижения конструкцией критической температуры  $500^\circ\text{C}$ , составляет 21–24 % за время эксплуатации 25 лет. Это согласуется с результатами представленного выше прогноза стабильности данной характеристики.

### Заключение

На основе проведенных исследований состава СГК-2 установлена тенденция к снижению огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий при длительной эксплуатации защищаемых металлоконструкций. Предложена методика для учета данного влияния, основанная на экспериментальной оценке изменения кратности вспучивания покрытий и степени их термического разложения в зависимости от времени эксплуатации и использовании этих показателей при математическом моделировании и проектировании огнезащиты. Проведено апробирование методики в ходе экспериментальных и теоретических исследований состава СГК-2 на образцах, прошедших ускоренные климатические испытания для периода эксплуатации до 25 лет. Подобные результаты позволяют прогнозировать изменение со временем огнезащитной эффективности и оценить огнестойкость строительных конструкций из стали, защищенных ОВП.

Таким образом, продемонстрирована целесообразность и возможность создания единого подхода к оценке влияния длительной эксплуатации конструкций на огнезащитную эффективность вспучивающихся покрытий и учету этого фактора в практике исследований и проектирования огнезащиты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старение и стабилизация полимеров / Под ред. М. Б. Неймана. — М. : Наука, 1964. — 332 с.
2. Дудеров Н. Г., Смирнов П. В., Пагановский Ю. К., Михайлова Е. Д., Молчадский О. И., Чиликин М. В. Идентификация веществ, материалов и средств огнезащиты перед испытаниями на пожарную опасность // Материалы Второго международного семинара “Пожаровзрывоопасность веществ и взрывозащита объектов”. — М., 1997.
3. Еремина Т. Ю., Крашенинникова М. В., Дмитриева Ю. Н., Семенов Д. С. Нормируемые требования к качеству огнезащитных покрытий при сдаче строительных объектов и применение методов термического анализа для прогнозирования долговечности покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 31–33.
4. Оценка качества огнезащиты и установления вида огнезащитных покрытий на объектах : руководство. — М. : ВНИИПО, 2011. — 39 с.
5. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу : методика. — М. : ВНИИПО, 1998. — 19 с.
6. Зверев В. Г., Гольдин В. Д., Теплоухов А. В. Лучистый нагрев вспучивающихся теплозащитных покрытий // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2014. — Т. 57, № 8-2. — С. 142–147.
7. Теплоухов А. В. Оценка огнезащитной эффективности тонкослойных вспучивающихся покрытий в процессе длительной эксплуатации посредством исследования их теплофизических свойств // Труды МИТ. — 2011. — Т. 11. — Ч. 1. — С. 234–238.
8. Гаращенко А. Н., Кульков А. А., Васин В. П., Рудакова Т. А. Влияние состава и особенностей поведения вспучивающихся огнезащитных покрытий на их эффективность // Вопросы оборонной техники. — 2010. — Вып. 4. — Сер. 15. — С. 33–38.
9. Charles E. Anderson Jr., Donna K. Wauters. A thermodynamic heat transfer model for intumescent systems // International Journal of Engineering Science. — 1984. — Vol. 22, Issue 7. — P. 881–889. DOI: 10.1016/0020-7225(84)90036-3.
10. Zverev V. G., Golédin V. D., Nesmelov V. V., Tsimbalyuk A. F. Modeling heat and mass transfer in intumescent fire-retardant coatings // Combustion, Explosion, and Snock Waves. — 1998. — Vol. 34, issue 2. — P. 198–205. DOI: 10.1007/bf02672821.
11. Griffin G. J. The modeling of heat transfer across intumescent polymer coating // Journal of Fire Sciences. — 2010. — Vol. 28, Issue 3. — P. 249–277. DOI: 10.1177/0734904109346396.
12. Bartholmai M., Schriever R., Schartel B. Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using cone calorimeter and numerical analysis // Fire and Materials. — 2003. — Vol. 27, Issue 4. — P. 151–162. DOI: 10.1002/fam.823.
13. Зверев В. Г., Теплоухов А. В., Цимбалюк А. Ф. Исследование свойств и огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2014. — Т. 57, № 8-2. — С. 148–153.
14. Инструкция № 1014–73. Методы прогнозирования сроков службы полимерных материалов в изделиях. — М. : ВИАМ, 1974.
15. Расчетно-экспериментальная оценка теплоизолирующей способности и огнезащитной эффективности состава СГК-2 для металлоконструкций с заданным значением приведенной толщины конструкции. — М. : ВНИИПО, 2007.

Материал поступил в редакцию 10 июля 2015 г.

**Для цитирования:** Теплоухов А. В., Зверев В. Г., Гаращенко А. Н. Методика и результаты оценки влияния длительной эксплуатации конструкций на основные свойства вспучивающихся огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 9–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.9-16.

## METHODOLOGY AND RESULTS OF ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF STRUCTURES LONG-TERM EXPLOITATION ON BASIC PROPERTIES OF THE INTUMESCENT FLAME-RETARDANT COATINGS

**TEPLOUKHOV A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Joint-Stock Company "Corporation "Moscow Institute of Thermal Technology" (Berezovaya Alleya, 10, Moscow, 127273, Russian Federation; e-mail address: avt3108@mail.ru)

**ZVEREV V. G.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chief of Laboratory, Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: zverev@niipmm.tsu.ru)

**GARASHCHENKO A. N.**, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Open Joint Stock Company "Central Research Institute for Special Machinery" (Zavodskaya St., 1, Khotkovo, Moscow Region, 141371, Russian Federation; e-mail address: a.n.gar@mail.ru)

### ABSTRACT

The procedure of estimation of impact of long-term operation of various constructions on the main properties of intumescent flame retardant coatings is offered. It is based on an experimental evaluation of change of intumescence expansion rate of coatings and their thermal decomposition rate depending on the operating time and consideration of these indicators in mathematical modeling and design of fire protection.

Tests of this procedure is carried out on the example of SGK-2 compound applied on the samples which passed the accelerated climatic tests for the operating period of 5, 10, 15, 20 and 25 years. Definition of intumescence and thermal decomposition indices, the main physical and mechanical properties of the coating was carried out. To assess the dynamics of changes of intumescence value it was used the test procedure with samples placed inside gauge tubes made of the heat-resistant glass which were heated in muffle furnace. In addition samples were tested on the installation (stand) of radiant heating.

On the basis of conducted researches it was determined the decrease tendency of intumescence expansion rate and, respectively, flame retardant efficiency of coating during long-term operation of protected metal constructions. The methodology of accounting of such influence based on the obtained experimental data during mathematical modeling and design of fire protection due to previously developed and tested calculation methods.

On the basis of carried out experiments and calculations it was determined that decrease of flame retardant efficiency of SGK-2 coating, characterized by time while the protected steel construction is heated to the critical temperature (500 °C), amount to 21–25 % over the lifetime of 25 years. The obtained results showed expediency and possibility of creation of a common approach to assessment of influence of long-term operation of constructions on flame retardant efficiency of intumescent coatings and considering of this factor in practice of researches and design of fire protection.

**Keywords:** fire protection; analysis; intumescent coating; flame-retardant coating; exploitation of structures.

### REFERENCES

1. Nieman M. B. (ed.). *Stareniye i stabilizatsiya polimerov* [Ageing and stabilization of polymers]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 332 p.
2. Duderov N. G., Smirnov P. V., Paganovskiy Yu. K., Mikhaylova E. D., Molchadskiy O. I., Chilikin M. V. Identifikatsiya veshchestv, materialov i sredstv ognezashchity pered ispytaniyami na pozharnuyu opasnost [Identification of agents, materials and means of fire protection prior to fire hazard tests]. *Materialy Vtorogo mezhdunarodnogo seminara "Pozharovzryvoopasnost veshchestv i vzryvozashchita obyektov"* [Materials of the Second International Seminar "Fire-and-explosion hazard of substances and explosion protection of objects"]. Moscow, 1997.

3. Eremina T. Yu., Krashennnikova M. V., Dmitrieva Yu. N., Semenov D. S. Normiruyemye trebovaniya k kachestvu ognезashchitnykh pokrytiy pri sdache stroitelnykh ob'yektov i primeneniye metodov termicheskogo analiza dlya prognozirovaniya dolgovechnosti pokrytiy [Standardized requirements for quality of flame-retardant coatings during commissioning of construction objects and application of thermal analysis methods for prediction of durability of coatings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 31–33.
4. *Guidance on the estimation of fire protection quality and type of flame-retardant coatings of objects*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2011. 39 p. (in Russian).
5. *Determination of heat-insulating properties of flame-retardant coatings for metal structures. Methodology*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1998. 19 p. (in Russian).
6. Zverev V. G., Goldin V. D., Teploukhov A. V. Luchistyy nagrev vspuchivayushchikhsya teplozashchitnykh pokrytiy [Radiation heating of intumescent thermal protection coatings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika — Russian Physics Journal*, 2014, vol. 57, no. 8-2, pp. 142–147.
7. Teploukhov A. V. Otsenka ognезashchitnoy effektivnosti tonkosloynnykh vspuchivayushchikhsya pokrytiy v protsesse dlitelnoy ekspluatatsii posredstvom issledovaniya ikh teplofizicheskikh svoystv [Estimation of fire-protective efficiency of the thin layer intumescent coatings while long-term operation by means of research of their thermalphysic properties]. *Trudy MIT — Proceedings of Moscow Institute of Thermal Technology*, 2011, vol. 11, no. 1, pp. 234–238.
8. Garashchenko A. N., Kulkov A. A., Vasin V. P., Rudakova T. A. Vliyaniye sostava i osobennostey povedeniya vspuchivayushchikhsya ognезashchitnykh pokrytiy na ikh effektivnost [Influence of composition and behavior characteristics of the intumescent flame-retardant coatings on their efficiency]. *Voprosy oboronnoy tekhniki — Enginery Problems*, 2010, vol. 4, no. 15, pp. 33–38.
9. Charles E. Anderson Jr., Donna K. Wauters. A thermodynamic heat transfer model for intumescent systems. *International Journal of Engineering Science*, 1984, vol. 22, issue 7, pp. 881–889. DOI: 10.1016/0020-7225(84)90036-3.
10. Zverev V. G., Golédin V. D., Nesmelov V. V., Tsimbalyuk A. F. Modeling heat and mass transfer in intumescent fire-retardant coatings. *Combustion, Explosion, and Snock Waves*, 1998, vol. 34, issue 2, pp. 198–205. DOI: 10.1007/bf02672821.
11. Griffin G. J. The modeling of heat transfer across intumescent polymer coating. *Journal of Fire Sciences*, 2010, vol. 28, issue 3, pp. 249–277. DOI: 10.1177/0734904109346396.
12. Bartholmai M., Schriever R., Schartel B. Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using cone calorimeter and numerical analysis. *Fire and Materials*, 2003, vol. 27, issue 4, pp. 151–162. DOI: 10.1002/fam.823.
13. Zverev V. G., Teploukhov A. V., Tsimbalyuk A. F. Issledovaniye svoystv i ognезashchitnoy effektivnosti vspuchivayushchikhsya pokrytiy [Investigation of properties and fire protection efficiency of intumescent coatings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika — Russian Physics Journal*, 2014, vol. 57, no. 8-2, pp. 148–153.
14. *Instruction No. 1014–73. Methods of prediction of the polymeric materials service life in products*. Moscow, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials Publ., 1974 (in Russian).
15. *The computational and experimental evaluation of heat-insulating ability and flame-retardant efficiency of SGK-2 compound for metal structures with specified value of reduced thickness of a structure*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2007 (in Russian).

**For citation:** Teploukhov A. V., Zverev V. G., Garashchenko A. N. Metodika i rezultaty otsenki vliyaniya dlitelnoy ekspluatatsii konstruktsiy na osnovnyye svoystva vspuchivayushchikhsya ognезashchitnykh pokrytiy [Methodology and results of estimation of the influence of structures long-term exploitation on basic properties of the intumescent flame-retardant coatings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 9–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.9-16.

**Л. В. ДАШКО**, канд. хим. наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела Экспертно-криминалистического центра МВД России (Россия, 125130, г. Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5; e-mail: suthomas@yandex.ru)

**И. А. ЕЛИСЕЕВА**, канд. хим. наук, государственный эксперт по интеллектуальной собственности 1-й категории отдела неорганических и полимерных соединений, Федеральный институт промышленной собственности (Россия, 125993, г. Москва, Бережковская наб., 30, корп. 1; e-mail: eliseevairina.a@gmail.com)

**И. В. ДАШКО**, канд. хим. наук, государственный эксперт по интеллектуальной собственности 1-й категории отдела неорганических и полимерных соединений, Федеральный институт промышленной собственности (Россия, 125993, г. Москва, Бережковская наб., 30, корп. 1; e-mail: i-sem@inbox.ru)

**Н. Г. ПОНОМАРЕВА**, канд. юрид. наук, заведующий отделом неорганических и полимерных соединений, Федеральный институт промышленной собственности (Россия, 125993, г. Москва, Бережковская наб., 30, корп. 1; e-mail: genresnat@yandex.ru)

УДК 347.771

## АНАЛИЗ ПАТЕНТОВ И МАТЕРИАЛОВ ЗАЯВОК НА ИЗОБРЕТЕНИЯ, СВЯЗАННЫХ С ОГНЕЗАЩИТОЙ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

Проведен обзор патентных документов, поданных в патентное ведомство РФ и связанных с изобретениями в области получения и применения композиций, снижающих горючие свойства полимеров на основе полистирола. Осуществлен анализ изобретений в соответствии с химической природой применяемых антипиренов, а также с учетом состава добавок, влияющих на снижение горючих свойств. Показано, что широкое использование полимерных смесей на основе стирола в различных областях техники свидетельствует об актуальности задачи поиска новых антипиренов и новых подходов к созданию смесей, основанных на сочетании антипиренов органической и неорганической природы.

**Ключевые слова:** полистирол; пенополистирол; антипирены; снижение горючести; патентные документы.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.17-25

Первые образцы пенополистирола были получены около 100 лет назад. С тех пор, несмотря на то что были созданы новые материалы, которые по эксплуатационным свойствам идентичны или же превосходят пенополистирол, масштабы его применения только увеличиваются из-за его доступности и относительной безопасности. Благодаря своим теплоизолирующим и прочностным свойствам, невысокой стоимости, удобству и простоте обработки пенополистирол используется во многих областях деятельности. Так, например, он широко применяется в качестве термоизоляции и шумоизоляции в строительстве, в приборостроении, в качестве средства для придания положительной плавучести на воде, вспомогательного материала для моделирования при изготовлении энергопоглощающих элементов в автомобилестроении, одноразовой посуды, упаковочной и изотермической тары для продуктов питания; элементов рекламных конструкций, литьевых моделей, а также активно используется в сельском хозяйстве [1, 2].

По своим физико-химическим свойствам пенополистирол относится к числу легкогорючих материалов. В силу специфики своего химического строения, развитой поверхности и большого содержания воздуха он горит с большой интенсивностью. Удельная массовая скорость выгорания пенополистирола марки ПСБ составляет  $2,19 \text{ кг}/(\text{мин} \cdot \text{м}^2)$  [3]. Из-за большой скорости горения за относительно малое время высвобождается большое количество тепла [4]. При горении пенополистирол переходит в жидкое состояние и деполимеризуется, а далее продолжают гореть продукты деполимеризации [5]. Горение обычного пенополистирола сопровождается образованием токсичных продуктов — циановодорода, фосгена, бромводорода и т. п. [6].

Для снижения его горючих свойств выпускаются специальные композиции с добавками антипиренов. В России такие пенополистиролы маркируются буквой “С” (самозатухающие) [7]. Действие антипиренов основано на изоляции либо горючего, либо окислителя. Для полистиролов часто исполь-

зуются комбинации антипиренов разного типа действия, обладающие синергическим эффектом.

На основании данных, полученных в пожарных лабораториях МЧС России, отравление продуктами горения зачастую является причиной гибели людей на пожаре, поэтому в последнее время разработки в области антипиренов направлены именно на предотвращение образования дыма и токсичных газов [8, 9].

Существуют различные типы антипиренов, применяемых в комбинации с пенополистиролом. Наиболее распространенными из них являются галогенсодержащие, фосфорсодержащие и гидроксиды металлов.

Эффективность галогенсодержащих антипиренов возрастает в ряду от фтора к йоду. Однако в качестве антипиренов применяются только хлор- и бромсодержащие соединения, поскольку фтор малоэффективен, а соединения йода обладают низкой термостабильностью при переработке. Бромсодержащие антипирены намного эффективнее, чем хлорсодержащие, так как продукты их горения менее летучи. Кроме того, хлорсодержащие антипирены выделяют хлор в широком интервале температур, поэтому содержание его в газовой фазе достаточно низкое, а бромсодержащие антипирены разлагаются в узком интервале температур, обеспечивая тем самым оптимальную концентрацию брома в газовой фазе [10].

Большая часть галогенсодержащих антипиренов применяется в виде синергических смесей с оксидами сурьмы. Сам по себе оксид сурьмы не задерживает горения, так как плавится при температурах выше температуры воспламенения полистирола. Однако в смеси с галогенсодержащими соединениями он образует галогениды и оксигалогениды сурьмы, которые при температуре воспламенения переходят в газообразное состояние и разбавляют горючие газы. Кроме того, галогениды и оксигалогениды взаимодействуют с  $\text{OH}^*$  аналогично  $\text{HCl}$  и  $\text{HBr}$  [11].

Антипирены на основе соединений фосфора бывают органическими и неорганическими. Они могут быть активными в газовой или конденсированной фазе либо в обеих сразу. Действие фосфорсодержащих антипиренов реализуется через образование радикалов  $\text{PO}^*$ , которые впоследствии взаимодействуют с радикалами  $\text{H}^*$  и  $\text{OH}^*$ , способствующими распространению пламени. Действие в конденсированной фазе основано на том, что при разложении антипирена образуются остатки фосфорной кислоты, которые действуют как дегидратирующий агент, способствуя образованию карбонизированных структур. При этом может образовываться также аэрозоль, дезактивирующий радикалы за счет эффекта стенки [12, 13].

Существуют комбинированные антипирены, содержащие соединения галогенов и фосфора. Достоинство таких соединений заключается в том, что, отщепляя при разложении галогенрадикалы, они дезактивируют по обычному для галогенов механизму взаимодействие с радикалами  $\text{H}^*$  и  $\text{OH}^*$  и способствуют образованию карбонизированных структур [14].

Постоянно расширяется применение антипиренов, содержащих гидроксиды металлов, благодаря их более низкой стоимости по сравнению с системами на основе галогенов или фосфора и лучшим экологическим показателям. Гидроксиды металлов под воздействием высоких температур разлагаются с выделением воды. Реакция разложения антипирена является эндотермической, что приводит к охлаждению субстрата до температуры ниже точки воспламенения. Образование воды способствует разбавлению горючих газов, выделяющихся при разложении, снижению концентрации кислорода и, как следствие, приводит к уменьшению скорости горения [15, 16].

При выборе антипирена необходимо учитывать несколько факторов, главными из которых являются тип полимера и требования по огнеопасности. Другое важное условие — поведение антипирена при переработке в изделие, т. е. термостабильность, температура плавления, равномерность распределения в полимере. Эффективность антипиренов не зависит от степени их диспергирования или растворимости в полимере, так как большинство реакций, связанных с торможением горения, происходит в газовой фазе. Эффективность добавок определяется скоростью диффузии галогенрадикалов и скоростью их взаимодействия со свободными радикалами. Необходимо также учитывать влияние антипирена на физико-механические, электрические и прочие свойства, определяемые конечным применением изделия. Вот здесь как раз и оказывается важным фактор равномерного диспергирования. Более того, рекомендуется выбирать антипирен таким образом, чтобы галогенрадикалы образовывались при той же температуре, что и горючие продукты пиролиза полимера. Таким образом, нейтрализаторы свободных радикалов окажутся в газовой фазе одновременно с горючим, что обеспечит максимальную эффективность действия антипирена. Скорость образования активных частиц должна быть такой, чтобы нейтрализация радикалов осуществлялась в течение всего времени, пока температура на поверхности остается выше температуры возгорания летучих компонентов [17].

Однако применение различных добавок не гарантирует того, что пенополистирол станет полностью негорючим. Так, по пожарной классификации он относится к веществам средней воспламеняемо-

сти [3, 6]. Опыты, проведенные в Испытательном центре НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, показали, что пенополистирол с антипиренами на основе соединений хлора, обладавший на момент монтажа конструкции группой горючести Г2, через некоторое время под воздействием внешних факторов уже станет соответствовать группе Г4 [18–20].

В конечном счете, помимо фактора времени огнезащиты и стоимости добавок, должны также учитываться экологические аспекты. Предпочтение будет отдаваться еще и тем антипиренам, применение которых не представляет опасности для жизни и здоровья человека и не наносит вреда окружающей среде. В связи с этим поиск новых материалов, снижающих горючесть полистирольных композиций, остается весьма актуальной задачей.

В статье проведен анализ патентов и заявок, опубликованных в российском патентном ведомстве после 2000 г., которые связаны с получением и применением композиций, снижающих горючесть пенополистирола.

Снижение горючести пенополистирола достигается введением: антипиренов-добавок, антипиренов-реагентов, наполнителей, а также использованием в качестве пленкообразователей высокомолекулярных соединений с низким содержанием горючей органической части. Выбор конкретного метода снижения горючести зависит от многих факторов природы пленкообразователя, технологии получения покрытия, области применения и условий его эксплуатации, требуемого уровня снижения горючести, экологических и экономических соображений [21–23].

Анализ патентов и материалов заявок на изобретения проведен в соответствии с разделением веществ, снижающих горючие свойства пенополистирола, а также с их химической природой. Таким образом, были последовательно рассмотрены патентные документы на изобретения, в которых антипирены представляют собой неорганические соединения, далее — органические соединения и, наконец, — синергические смеси из добавок органической и неорганической природы.

Так, в патенте [24] описано изобретение, предлагающее использовать двойные соли в качестве добавок для полиолефинов или других синтетических полимеров, в частности в качестве антипиренов — подавителей образования дыма или катализатора для иммобилизации ферментов. Нейтральной двойной соли кальция-алюминия соответствует следующая формула:  $\text{Ca}_{2m}(\text{Zn}_{2n})\text{Al}_2(\text{OH})_{6+2(2m+2n-1)}\text{X}_j \cdot \text{H}_2\text{O}$ , где  $m = 0,5 \div 3,0$ ;  $0,5m \geq n > 0$ ;  $\text{X} = \text{CO}_3$ ,  $\text{OH}$  или  $\text{ClO}_4$ ,  $j = 0 \div 3$ . Способ получения двойной соли описывается авторами как взаимодействие  $\text{CaO}$  или  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{ZnO}$  или  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в водной суспензии и

добавление  $\text{CO}_2$  либо карбоната или бикарбоната щелочного металла, причем взаимодействие проходит при температурах от 10 до 100 °С. Образование двойной соли допускается также при взаимодействии с перхлоратной кислотой после реакции оксидов и гидроксидов металлов с карбонатами.

В патенте [25] представлен самозатухающий пенополистирол с пониженным содержанием бромированного антипирена, включающий гексабромциклододекан, тетрабромбисфенол и другие бромсодержащие антипирены и фосфорное соединение, в качестве которого используется продукт взаимодействия моно- или диаммонийфосфата с мочевиной.

В работе [26] описана диэлектрическая полимерная пена, предназначенная для использования в качестве различных диэлектрических материалов, включающая синтетический полимер, например различные термопластичные и термоотверждающиеся полимеры, в частности полистирол. Огнезащитные свойства материалу придает используемый в композиции антипирен, к примеру фосфазен и сложный эфир фосфата.

Антипирены органической природы в полимерных композициях представляют собой галогенизированные соединения. Наиболее часто встречаются бромированные полимерные соединения, а также галогенпроизводные ароматического ряда и галогенпроизводные циклоалканов, где  $\text{C} \geq 6$ .

В полимерных композициях, в состав которых входит полистирол как основной полимер или сополимер, применяют в качестве антипиренов алифатические бромсодержащие полимеры, такие как бромированный бутадиеновый гомополимер или бромированный блок-сополимер стирол/бутадиен [27] либо потенциальные материалы для замены гексабромциклододекана в качестве антипирена [28, 29].

В полимерных композициях галогензамещенные органические соединения вводятся индивидуально или в сочетании со своими органическими аналогами. Так, например, гексабромбутен, пентаброммоноклорциклогексан, дибромэтилдибромциклогексан, гексабромциклододекан, тетрабромциклооктан, тетрабромвинилциклогексан и др. представлены в заявке [30], где описана композиция самозатухающего вспенивающегося полистирола, которая находит широкое применение в качестве тепло- и звукоизоляционного материала в строительстве, в том числе общественных зданий, а также для изготовления мебели, упаковок и т. д. Подобные соединения в качестве добавок, снижающих горючие свойства вещества (гексабромциклододекан, пентаброммоноклорциклогексан и пентабромфенилаллиловый эфир и подобные им), описаны в работах [31–35].

В патенте [36] представлены антипирены для применения в комбинации со стирольными смолами,

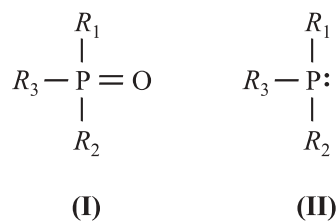
содержащие как бромзамещенные алифатические, так и ароматические соединения. Антипирены в стирольных композициях встречаются также в виде синергетической смеси, например гексабромциклододекана и пероксида дикумила, и в качестве дополнительного инициатора О,О-третмил-О-(2-гексил)-монопероксикарбоната [37].

Начиная с 2000 г. к изобретениям, представляющим пенополистиролы с добавками в виде синергетических смесей, проявляется все больше интереса с точки зрения изысканий средств для снижения горючести полимерных материалов. Как правило, смеси, снижающие горючесть, в анализируемых нами патентных документах являются безгалогеновыми антипиренами, представляющими собой как сложные смеси, состоящие из нескольких компонентов, так и антипирен, в органический компонент которого входит атом галогена.

В первом случае в качестве примера можно привести работы [38, 39], в которых в общем виде антипирен содержит полифосфаты аммония и его производные, производное 1,3,5-триамина, производные меламина, солей меламина и его аддуктов, фосфатов, пирофосфатов, полифосфатов, органических и неорганических фосфонатов и фосфинатов, станнатов, молибдатов или боратов элементов главных подгрупп II, III, IV либо элементов из числа Fe, Zn, Ti, Mn, Zr, Mo.

Во втором случае, как описано в заявке [40], антипирены выбраны из группы, состоящей из тетрафенилрезорцинолдифосфита, сложного эфира хлоралкилфосфорной кислоты, полиброминированного дифенилоксида, декабромдифенилоксида, оксидов аммония, трис-[3-бром-2,2-(бромметил)пропил]фосфата, трифенилфосфата, бис-(2,3-дибромпропилового эфира)бисфенола А, полифосфата аммония, олигомерного резорцинолдифосфата, броминированной эпоксидной смолы, этилен-1,2-бис-тетрабромфталимид, бис-(гексахлорциклопентадиен)циклооктана, сульфата кальция, хлорированного парафина, карбоната магния, фосфата меламина, пирофосфата меламина, триоксида молибдена, оксида цинка, 1,2-бис-(трибромфеноксид)этана, тетрабромбисфенола А, гидроксида магния, тригидрата алюминия, бората цинка, дифосфата этилендиамина и замещенного, стерически затрудненного амина.

Подобный состав антипирена отражен в заявке [41], авторами которой описано теплоизоляционное и огнестойкое полимерное покрытие на основе пенополистирола и сложной синергетической смеси, являющейся антипиреном, выбранным из группы, включающей тригидрит алюминия, соединения бора, соединения фосфора, соединения сурьмы, высоко-



Структурные формулы огнезащитных фосфорорганических соединений из патентной заявки [42]

хлорированные парафины, бромпроизводные ароматических углеводородов, смеси солей неорганических кислот с меламино- или мочевиноформальдегидными смолами, амины никеля, амины цинка, амины кобальта, карбонаты аммония, сульфаты аммония, соли молибдена, соли ванадия, соли церия или их смеси.

В силу значительного снижения горючих свойств полимера интерес представляет композиция сложного состава, описанная в заявке [42]. Данный антипирен состоит из тетрабромпараксилола, 1,2-дибромэтилбензола, соединения сурьмы и фосфора. В патентной заявке [43] приведена схожая огнезащитная полимерная композиция, которая включает в свой состав пенополистирол и систему антипиренов, по меньшей мере одного фосфорного и одного сернистого соединения, серосодержащего соединения и/или серы, и характеризуется тем, что фосфорным соединением является элементарный фосфор, в частности красный фосфор, и/или неорганическое фосфорное соединение, или гидролизаты, или их соли и/или органическое фосфорное соединение общей формулы (I) или (II) (см. рисунок), где остатки  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  означают органические или неорганические остатки, а сернистым соединением является элементарная сера и/или неорганическое либо органическое сернистое или серосодержащее соединение.

Как пример, можно привести композицию, в которой в качестве фосфорного соединения присутствует 9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксид, а в качестве сернистого соединения — цистин, амилфенолдисульфид и/или политретбутилфенолдисульфид.

Анализ патентных материалов, описывающих огнезащитные полимерные композиции, позволил проследить тенденцию, которая проявляется в увеличении числа новых огнезащитных соединений, и сформулировать вывод о том, что, во-первых, проблема поиска новых антипиренов остается весьма актуальной задачей, а во-вторых, за последнее десятилетие возросло количество патентных заявок на получение нового типа антипиренов, в основе которого лежит различное сочетание материалов органической и неорганической природы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53786–2010. Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Термины и определения. — Введ. 01.01.2011. — М. : Стандартинформ, 2010.
2. ГОСТ Р 53785–2010. Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Классификация. — Введ. 01.01.2011. — М. : Стандартинформ, 2010.
3. Баталин Б. С., Карманов В. В., Кетов А. А. Пожарная опасность пенополистирола самозатухающего // Строительные материалы. — 2012. — № 8. — С. 69–71.
4. Liu J., Yu Z., Shi Y., Chang H., Zhang Y., Luo J., Lu C. A preliminary study on the thermal degradation behavior and flame retardancy of high impact polystyrene/magnesium hydroxide/microencapsulated red phosphorus composite with a gradient structure // Polymer Degradation and Stability. — 2014. — Vol. 105. — P. 21–30. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.03.034.
5. Jiao L., Sun J. A thermal degradation study of insulation materials extruded polystyrene // Procedia Engineering. — 2014. — Vol. 71. — P. 622–628. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.04.089.
6. Воробьев В. А., Андрианов Р. А. Полимерные теплоизоляционные материалы. — М. : Изд-во литературы по строительству, 1972. — 320 с.
7. Kaya H., Hacıaloglu J. Thermal degradation of polystyrene composites. Part I. The effect of brominated polyepoxy and antimony oxide // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. — 2014. — Vol. 105. — P. 301–308.
8. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Научный мир, 2007. — 573 с.
9. Kim Y. R., Harden F. A., Toms L. L., Norman R. E. Health consequences of exposure to brominated flame retardants: A systematic review // Chemosphere. — 2014. — Vol. 106. — P. 1–19. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.12.064.
10. Qi H., Li W.-L., Liu L.-Y., Song W.-W., Ma W.-L., Li Y.-F. Brominated flame retardants in the urban atmosphere of Northeast China: Concentrations, temperature dependence and gas–particle partitioning // Science of the Total Environment. — 2014. — Vol. 491–492. — P. 60–66. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.002.
11. Papachlimitzou A., Barber J. L., Losada S., Bersuder P., Law R. J. A review of the analysis of novel brominated flame retardants // Journal of Chromatography A. — 2012. — Vol. 1219. — P. 15–28. DOI: 10.1016/j.chroma.2011.11.029.
12. Kind D. J., Hull T. R. A review of candidate fire retardants for polyisoprene // Polymer Degradation and Stability. — 2012. — Vol. 97, No. 3, — P. 201–213. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.12.008.
13. Van der Veen I., de Boer J. Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis // Chemosphere. — 2012. — Vol. 88, No. 10. — P. 1119–1153. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.067.
14. Marosi Gy., Szolnoki B., Boczkó K., Toldy A. Reactive and additive phosphorus-based flame retardants of reduced environmental impact // Polymer Green Flame Retardants. — 2014. — P. 181–220. DOI: 10.1016/b978-0-444-53808-6.00005-6.
15. Bergman E., Rydén A., Law R. J., de Boer J., Covaci A., Alaee M., Birnbaum L., Petreas M., Rose M., Sakai S., Van den Eede N., Van der Veen I. A novel abbreviation standard for organobromine, organochlorine and organophosphorus flame retardants and some characteristics of the chemicals // Environment International. — 2012. — Vol. 49. — P. 57–82. DOI: 10.1016/j.envint.2012.08.003.
16. Huang G., Chen S., Song P., Lu P., Wu C., Liang H. Combination effects of graphene and layered double hydroxides on intumescent flame-retardant poly(methyl methacrylate) nanocomposites // Applied Clay Science. — 2014. — Vol. 88–89. — P. 78–85. DOI: 10.1016/j.clay.2013.11.002.
17. Tang H., Zhou X.-B., Liu X.-L. Effect of magnesium hydroxide on the flame retardant properties of unsaturated polyester resin // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 52. — P. 336–341. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.150.
18. Escamilla M., Paul R. Methodology for testing the life cycle sustainability of flame retardant chemicals and nanomaterials // Polymer Green Flame Retardants. — 2014. — P. 891–905. DOI: 10.1016/b978-0-444-53808-6.00026-3.
19. ГОСТ 15588–2014. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия. — Введ. 01.07.2015. — М. : Стандартинформ, 2015.
20. Румянцев Б. М., Жуков А. Д. Эксперимент и моделирование при создании новых изоляционных и отделочных материалов : монография. — М. : МГСУ, 2013. — 156 с.
21. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
22. Абушенко А. В. Экструзия древесно-полимерных композитов // Мебельщик. — 2005. — № 2. — С. 20–25.

23. Глухих В. В., Мухин Н. М., Шкуро А. Е., Буриндин В. Г. Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами : учебное пособие. — Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. — 85 с.
24. Пат. 2455234 С2 Российская Федерация. МПК C01G 9/00 (2006.01), C08K 3/20 (2006.01), C08K 3/24 (2006.01), C08K 3/26 (2006.01). Новые цинксодержащие двойные соли кальция-алюминия / Райнер З., Раймер А., Эденхартер Л., Зоргалла М., Венер В. — № 2009123481/05; заявл. 15.11.2007; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.
25. Пат. 2407760 С2 Российская Федерация. МПК C08J 9/04 (2006.01), C09K 21/12 (2006.01), C08F 112/08 (2006.01). Самозатухающий пенополистирол / Гинзбург Л. И., Таркова Е. М., Синькевич В. А., Сергеев А. В., Никулин А. В., Лашинин С. В., Басиладзе Л. И. — № 2008141329/04; заявл. 08.10.2008; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36.
26. Пат. 2263124 С2 Российская Федерация. МПК C08J 9/04, C08L 101/12, C08K 13/04, H01B 3/00, H01Q 15/02. Диэлектрическая полимерная пена и линза для радиоволн с ее использованием / Аки Минору, Монде Хироюки, Табути Акира, Тати Йосифуми, Каваками Сиюго, Курода Масатоси, Кисимото Тецуо, Кимура Коуити. — № 2003105465/04; заявл. 25.07.2001; опубл. 27.10.2005, Бюл. № 30.
27. Пат. 2528677 С2 Российская Федерация. МПК C08L 25/06 (2006.01), C08L 25/10 (2006.01), C08L 25/18 (2006.01), C08L 55/02 (2006.01), C08L 63/00 (2006.01), C08K 5/00 (2006.01), C08K 5/50 (2006.01), C08J 9/04 (2006.01), C09K 21/12 (2006.01). Стабилизаторы для полимеров, содержащих бром алифатического присоединения / Крам Шари Линн, Уильям Джералд, Бойлих Инкен. — № 2011129655/05; заявл. 07.12.2009; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26.
28. Пат. 2529520 С2 Российская Федерация. МПК C08J 9/00 (2006.01), C08J 9/14 (2006.01), C09K 21/00 (2006.01), C08L 25/00 (2006.01). Пенополимер, характеризующийся низким уровнем содержания брома / Гордон-Даффи Дж., Эрроусмит Д., Ли С., Шмидт Р. — № 2011134093/05; заявл. 05.01.2010; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.
29. Пат. 2322458 С1 Российская Федерация. МПК C08G 63/682 (2006.01). Способ получения бромсодержащих ненасыщенных полиэфиров и смол на их основе / Лебедев И. Н., Лебедев Н. И., Чекрышкин Ю. С. — № 2006141427/04; заявл. 23.11.2006; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 11.
30. Пат. 2155193 С2 Российская Федерация. МПК C08F 112/08, C08F 2/38. Способ получения самозатухающего вспенивающегося полистирола / Амосов В. В., Дубцова Н. В. — № 97121798/04; заявл. 23.12.1997; опубл. 27.08.2000.
31. Пат. 2283323 С2 Российская Федерация. МПК C08J 9/00, C08J 9/16, C08L 25/06, C08J 9/04, C08J 9/14, C08L 25/08, C08L 25/10, C08L 25/14. Вспениваемые винилароматические полимеры и способ их получения / Гидони Д., Ланфредди Р., Фриджеро Дж., Казалини А. — № 2004105595/04; заявл. 03.10.2002; опубл. 10.09.2006, Бюл. № 25.
32. Пат. 2398792 С2 Российская Федерация. МПК C08J 9/16 (2006.01). Способ получения гранул вспенивающегося стирольного полимера / Гинзбург Л. И., Таркова Е. М., Егорова Е. И., Крашенинников А. А., Мясичева И. В. — № 2008141328/04; заявл. 08.10.2008; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 25.
33. Пат. 2243244 С2 Российская Федерация. МПК C08L 25/04, C08L 91/06, C08K 5/01, C08J 9/06. Вспенивающаяся полистирольная композиция, вспененные шарики и формованные детали / Карлье К., Дуа Д., Галевски Ж.-М. — № 99113997/04; заявл. 28.06.1999; опубл. 27.12.2004.
34. Пат. 2246516 С1 Российская Федерация. МПК C09D 109/04, C09D 109/08, C09D 133/10. Вибропоглощающая мастика / Дубинский Я. А., Корюкин А. Б., Курлянд С. К., Курчанов А. П., Чебаевский А. В. — № 2003115651/04; заявл. 26.05.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5.
35. Пат. 2295439 С2 Российская Федерация. МПК B29B 9/06, B29C 44/34, B29C 67/20. Способ получения гранул вспенивающегося стирольного полимера / Гинзбург Л. И., Таркова Е. М., Крашенинников А. А., Мясичева И. В. — № 2005105495/12; заявл. 21.02.2005; опубл. 20.03.2007, Бюл. № 8.
36. Пат. 2455324 С2 Российская Федерация. МПК C08K 5/03, C08L 25/04. Антипиреновая композиция для применения в полистиролах / Фаллун С. Б., Бартли Д. У., Холланд Дж. Э., Мейер У., Бэйкиз С. — № 2009137004/04; заявл. 25.01.2008; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.
37. Пат. 2261869 С2 Российская Федерация. МПК C08F 112/08, C08J 9/02. Способ получения вспенивающегося полистирола / Амосов В. В., Афанасьева Л. П., Рахматуллина О. А., Гоготов А. Ф. — № 2003117403/04; заявл. 10.06.2003; опубл. 10.10.2005, Бюл. № 28.
38. Пат. 2487902 С2 Российская Федерация. МПК C08K 5/00, C09K 21/04, C09K 21/10, C09K 21/00, C08K 5/3492, C08K 3/32, C08K 3/38, C08K 3/00. Безгалогеновый антипирен / Футтерер Т., Нэгерль Х.-Д., Фибла В.-М., Менгель З. — № 2010107372/05; заявл. 25.07.2008; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.

39. Пат. 2490287 С2 Российская Федерация. МПК С08К 5/00, С08К 5/3492, С09К 21/00, С09К 21/04, С09К 21/10, С09К 21/12, С08К 3/00, С08К 3/32. Огнестойкий полимерный материал / Футтерер Т., Нэгерль Х.-Д., Фибла В.-М., Менгель З. — № 2010107383/05; заявл. 25.07.2008; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23.
40. Пат. 2251562 С2 Российская Федерация. МПК С08Л 101/00, 23/00, С08К 13/00. Синтетические полимеры, содержащие смеси-добавки усиленного действия / Пфенднер Р., Хоффман К., Майер Ф., Ротзингер Б. — № 2001121489/04; заявл. 04.01.2000; опубл. 10.05.2005, Бюл. № 13.
41. Заявка на пат. 2013107390 А Российская Федерация. МПК С09Д 5/00. Теплоизоляционное огнестойкое полимерное покрытие / Бояринцев А. В. — Заявл. 19.02.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
42. Пат. 2385334 С2 Российская Федерация. МПК С08Ј 9/086, С08Ј 9/20, С08Ј 9/228. Способ непрерывного получения изделий из пенополистирола и установка для его осуществления / Бутаков А. А., Савченко В. И., Костин А. Ю., Князев Е. Ф., Гузев В. В., Малышев А. М. — № 2008120891/04; заявл. 28.05.2008; опубл. 27.03.2010, Бюл. № 9.
43. Заявка на пат. 2012116340 А Российская Федерация. МПК С08Ј 9/00 (2006.01). Огнестойкие расширяющиеся полимеризаты / Эбершталлер Р., Хинтермайер Г.; заявл. 22.09.2010; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.

*Материал поступил в редакцию 3 августа 2015 г.*

**Для цитирования:** Дашко Л. В., Елисеева И. А., Дашко И. В., Пономарева Н. Г. Анализ патентов и материалов заявок на изобретения, связанных с огнезащитой пенополистирола // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 17–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.17-25.

English

## ANALYSIS OF PATENTS AND PATENT APPLICATIONS RELATED TO FIRE PROTECTION EXPANDED POLYSTYRENE

**DASHKO L. V.**, Candidate of Chemical Sciences, Researcher of Scientific Research Department, Forensic Science Center of the Ministry of Interior of the Russian Federation (Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, Moscow, 125130, Russian Federation; e-mail address: suthomas@yandex.ru)

**ELISEEVA I. A.**, Candidate of Chemical Sciences, State Expert on Intellectual Property 1<sup>st</sup> category, Department of Inorganic and Polymer Compounds, Federal Institute of Industrial Properties (Berezhkovskaya Quay, 30-1, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: eliseevairina.a@gmail.com)

**DASHKO I. V.**, Candidate of Chemical Sciences, State Expert on Intellectual Property 1<sup>st</sup> category, Department of Inorganic and Polymer Compounds, Federal Institute of Industrial Properties (Berezhkovskaya Quay, 30-1, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: i-sem@inbox.ru)

**PONOMAREVA N. G.**, Candidate of Juridical Sciences, Head of Department of Inorganic and Polymer Compounds, Federal Institute of Industrial Properties (Berezhkovskaya Quay, 30-1, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: genresnat@yandex.ru)

### ABSTRACT

The goal of the presented work is to prepare an analytical review on new composites based on fire-retardant polystyrene mixtures. Tendencies in utility patent applications and patents devoted to the sphere of preparation and usage of composites published in Russian patent office after 2000 are analyzed.

General properties of foam polystyrene and common fire-retardants (phosphorus and halogenated compounds, metal hydroxides) are considered in context of flammability reducing. Mechanisms of fire-retardant action and factors of their selection for polymeric compositions are discussed.

Analysis of patents is based on chemical composition of fire-retardants. Different classes of individual inorganic and organic substances and synergetic mixtures are considered. Trends in patent applications increasing for new heat insulating and flame retardant materials for polymeric coatings preparation are revealed.

New materials are based on compositions of polystyrene and fire-retardants. Components of new synergetic mixtures are aliphatic and aromatic hydrocarbons, halogenated and organometallic compounds, inorganic acids and salts, etc.

**Keywords:** polystyrene; expanded polystyrene; flame retardants; decreasing flammability; patent documents.

## REFERENCES

1. *National standard of the Russian Federation 53786–2010. Facade's thermo-insulation composite systems with external mortar layers. Terms and definitions.* Moscow, Standartinform Publ., 2010 (in Russian).
2. *National standard of the Russian Federation 53785–2010. Facade's thermo-insulation composite systems with external mortar layers. Classification.* Moscow, Standartinform Publ., 2010 (in Russian).
3. Batalin B. S., Karmanov V. V., Ketov A. A. Pozharnaya opasnost penopolistirola samozatukhayushchego [Fire hazard of self-extinguishing polystyrene foam]. *Stroitelnyye materialy — Construction Materials*, 2012, no. 8, pp. 69–71.
4. Liu J., Yu Z., Shi Y., Chang H., Zhang Y., Luo J., Lu C. A preliminary study on the thermal degradation behavior and flame retardancy of high impact polystyrene/magnesium hydroxide/microencapsulated red phosphorus composite with a gradient structure. *Polymer Degradation and Stability*, 2014, vol. 105, pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.03.034.
5. Jiao L., Sun J. A thermal degradation study of insulation materials extruded polystyrene. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 71, pp. 622–628. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.04.089.
6. Vorobyev V. A., Andrianov R. A. *Polimernyye teploizolyatsionnyye materialy* [The polymer thermo-insulation materials]. Moscow, The literature on building Publ., 1972. 320 p.
7. Kaya H., Hacaloglu J. Thermal degradation of polystyrene composites. Part I. The effect of brominated polyepoxy and antimony oxide. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2014, vol. 105, pp. 301–308.
8. Tager A. A. *Fiziko-khimiya polimerov* [Physical chemistry of polymers]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2007. 573 p.
9. Kim Y. R., Harden F. A., Toms L. L., Norman R. E. Health consequences of exposure to brominated flame retardants: A systematic review. *Chemosphere*, 2014, vol. 106, pp. 1–19. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.12.064.
10. Qi H., Li W.-L., Liu L.-Y., Song W.-W., Ma W.-L., Li Y.-F. Brominated flame retardants in the urban atmosphere of Northeast China: Concentrations, temperature dependence and gas–particle partitioning. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 491–492, pp. 60–66. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.002.
11. Papachlimitzou A., Barber J. L., Losada S., Bersuder P., Law R. J. A review of the analysis of novel brominated flame retardants. *Journal of Chromatography A*, 2012, vol. 1219, pp. 15–28. DOI: 10.1016/j.chroma.2011.11.029.
12. Kind D. J., Hull T. R. A review of candidate fire retardants for polyisoprene. *Polymer Degradation and Stability*, 2012, vol. 97, no. 3, pp. 201–213. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.12.008.
13. Van der Veen I., de Boer J. Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 2012, vol. 88, no. 10, pp. 1119–1153. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.067.
14. Marosi Gy., Szolnoki B., Bocz K., Toldy A. Reactive and additive phosphorus-based flame retardants of reduced environmental impact. *Polymer Green Flame Retardants*, 2014, pp. 181–220. DOI: 10.1016/b978-0-444-53808-6.00005-6.
15. Bergman E., Rydén A., Law R. J., de Boer J., Covaci A., Alaee M., Birnbaum L., Petreas M., Rose M., Sakai S., Van den Eede N., Van der Veen I. A novel abbreviation standard for organobromine, organochlorine and organophosphorus flame retardants and some characteristics of the chemicals. *Environment International*, 2012, vol. 49, pp. 57–82. DOI: 10.1016/j.envint.2012.08.003.
16. Huang G., Chen S., Song P., Lu P., Wu C., Liang H. Combination effects of graphene and layered double hydroxides on intumescent flame-retardant poly(methyl methacrylate) nanocomposites. *Applied Clay Science*, 2014, vol. 88–89, pp. 78–85. DOI: 10.1016/j.clay.2013.11.002.
17. Tang H., Zhou X.-B., Liu X.-L. Effect of magnesium hydroxide on the flame retardant properties of unsaturated polyester resin. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 336–341. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.150.
18. Escamilla M., Paul R. Methodology for testing the life cycle sustainability of flame retardant chemicals and nanomaterials. *Polymer Green Flame Retardants*, 2014, pp. 891–905. DOI: 10.1016/b978-0-444-53808-6.00026-3.
19. *Interstate standard 15588–2014. Polystyrene insulating slabs. Specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2015 (in Russian).

20. Rumyantsev B. M., Zhukov A. D. *Eksperiment i modelirovaniye pri sozdanii novykh izolyatsionnykh i ot-delochnykh materialov: monografiya* [Experiment and design in creating new isolated and finishing materials. Monograph]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2013. 156 p.
21. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22. 07. 2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
22. Abushenko A. V. Ekstruziya drevesno-polimernykh kompozitov [Extrusion of WPC]. *Mebelshchik — Furniturer*, 2005, no. 2, pp. 20–25.
23. Glukhikh V. V., Mukhin N. M., Shkuro A. E., Buryndin V. G. *Polucheniye i primeneniye izdeliy iz drevesno-polimernykh kompozitov s termoplastichnymi polimernymi matritsami* [Preparation and use of products made from wood-plastic composites with thermoplastic polymer matrices. Training manual]. Yekaterinburg, Ural State Forest Engineering University Publ., 2014. 85 p.
24. Rajner Z., Rajmer A., Ehdenkharer L., Zorgalla M., Vener V. *Novel zinc-containing calcium-aluminium double salts*. Patent RU, no. 2455234, 10.07.2012 (in Russian).
25. Ginzburg L. I., Tarkova E. M., Sinkevich V. A., Sergeev A. V., Nikulin A. V., Lashchinin S. V., Basiladze L. I. *Self-extinguishing foamed polystyrene*. Patent RU, no. 2407760, 27.12.2010 (in Russian).
26. Aki Minoru, Monde Khiroujuki, Tabuti Akira, Tati Josifumi, Kavakami Siougo, Kuroda Masatosi, Kishimoto Tetsuo, Kimura Kouiti. *Dielectric polymeric foam and its utilization in production of lenses for radio waves*. Patent RU, no. 2263124, 27.10.2005 (in Russian).
27. Kram Shari Linn, Stobbi Uiljam Dzherald, Bojlikh Inken. *Stabilisers for polymers containing aliphatically-bound bromine*. Patent RU, no. 2528677, 20.09.2014 (in Russian).
28. Gordon-Daffi Dz., Ehrrousmit D., Li S., Shmidt R. *Foam polymer, characterised by low level of bromine content*. Patent RU, no. 2529520, 27.09.2014 (in Russian).
29. Lebedev I. N., Lebedev N. I., Chekryshkin Yu. S. *Process for production of bromine-containing unsaturated polyesters and resins based thereon*. Patent RU, no. 2322458, 20.04.2008 (in Russian).
30. Amosov V. V., Dubtsova N. V. *Method for production of self-extinguishing foaming polystyrene*. Patent RU, no. 2155193, 27.08.2000 (in Russian).
31. Gidoni D., Lanfredi R., Fridzherio Dz., Kazalini A. *Foamed vinylaromatic polymers and a process for producing the same*. Patent RU, no. 2283323, 10.09.2006 (in Russian).
32. Ginzburg L. I., Tarkova E. M., Egorova E. I., Krashennnikov A. A., Myasishcheva I. V. *Method of obtaining granules of foaming styrene polymer*. Patent RU, no. 2398792, 10.09.2010 (in Russian).
33. Karlye K., Dua D., Galevski Zh.-M. *Foaming polystyrene composition, foamed beads and shaped articles*. Patent RU, no. 2243244, 27.12.2004 (in Russian).
34. Dubinskij Ja. A., Korjukin A. B., Kurljand S. K., Kurchanov A. P., Chebaevskij A. V. *Vibration absorbing mastic*. Patent RU, no. 2246516, 20.02.2005 (in Russian).
35. Ginzburg L. I., Tarkova E. M., Egorova E. I., Krashennnikov A. A., Myasishcheva I. V. *Method of production of the granules of the foaming styrene polymeric compound*. Patent RU, no. 2295439, 20.03.2007 (in Russian).
36. Fallun S. B., Bartli D. U., Kholand Dz. Eh., Mejer U., Behjkiz S. *Antipyrene composition for use in polystyrenes*. Patent RU, no. 2455324, 10.07.2012 (in Russian).
37. Amosov V. V., Afanas'eva L. P., Rakhmatullina O. A., Gogotov A. F. *Method for preparing frothing polystyrene*. Patent RU, no. 2261869, 10.10.2005 (in Russian).
38. Futterer T., Nehgerl' Kh.-D., Fibla V.-M., Mengel' Z. *Halogen-free fire retardant*. Patent RU, no. 2487902, 20.07.2013 (in Russian).
39. Futterer T., Nehgerl' Kh.-D., Fibla V.-M., Mengel' Z. *Fire-resistant polymer material*. Patent RU, no. 2490287, 20.08.2013 (in Russian).
40. Pfendner R., Khoffman K., Majer F., Rotzinger B. *Synthetic polymers containing mixtures as additions of enhanced action*. Patent RU, no. 2251562, 10.05.2005 (in Russian).
41. Boyarintsev A. V. *Heat insulation flame retardant polymer coating*. Patent application RU, no. 2013107390, 27.08.2014 (in Russian).
42. Butakov A. A., Savchenko V. I., Kostin A. J., Knjazev E. F., Guzeev V. V., Malyshev A. M. *Method for continuous production of products from foamed polystyrene and device for realising said method*. Patent RU, no. 2385334, 27.03.2010 (in Russian).
43. Ebershtaller R., Khintermayer G. *Flame-retardant expandable polymers*. Patent application RU, no. 2012116340, 27.10.2013 (in Russian).

**For citation:** Dashko L. V., Eliseeva I. A., Dashko I. V., Ponomareva N. G. Analiz patentov i materialov zayavok na izobreteniya, svyazannykh s ogneshchitoy penopolistirola [Analysis of patents and patent applications related to fire protection expanded polystyrene]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 17–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.17-25.

# РАЗВИТИЕ “ЦИВИЛИЗОВАННОЙ” КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В марте 2015 г. Ассоциация «Росизол», в числе членов которой состоят представители иностранных компаний, производящих такие бренды, как Knauf Insulation; Rockwool; Paroc; Isover и т. д., “вдруг” озабочилась пожарной безопасностью материалов из супертонкого базальтового волокна, выпускаемых российскими производителями, в частности ОАО “ТИЗОЛ”. Украдкой были закуплены и испытаны на негорючесть материалы якобы производства нашего предприятия. Свое отношение к данной инсинуации мы высказали в статье “Пожарная безопасность. Фальсификация и недобросовестная конкуренция” (Строительная газета, 2015, № 39). В ней была полностью доказана несостоятельность каких-либо претензий к материалам, выпускаемым ОАО “ТИЗОЛ”. По этому поводу развернулась широкая дискуссия на портале “Базальтовые технологии”.

Однако менеджмент ассоциации “Росизол”, видимо, надеясь на низкий уровень технической грамотности потребителей, с завидной настойчивостью распространяет письма, в которых пытается доказать, что материалы ОАО “ТИЗОЛ” горючи, поэтому их применение надо ограничить.

Откуда такое настойчивое стремление опорочить базальтовые материалы? Ответ становится очевидным, когда понимаешь, что предприятия, входящие в “Росизол”, не обладают технологией производства штапельного холста из супертонкого базальтового волокна. Раз у них самих нет такого материала, надо просто опорочить конкурентов.

Что же предлагают члены “Росизола” взамен общепризнанной не только в России, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья системы огне- и теплозащиты воздуховодов (ЕТ-Вент), которую они так настойчиво пытаются выдать с рынка? Для огнезащиты воздуховодов они предлагают использовать маты на основе минеральной ваты.

Система крепления таких материалов заслуживает отдельного разговора. Маты предлагается крепить на приварные шпильки (см. рисунок). При-

чем толщина металлических стенок воздуховода, как правило, составляет 0,8 мм, и любой сварщик подтвердит, как сложно приварить шпильки и не прожечь при этом металл насквозь. И прожигают, тем более что постоянного контроля нет, а после монтажа мата такой недопустимый дефект обнаружить невозможно.

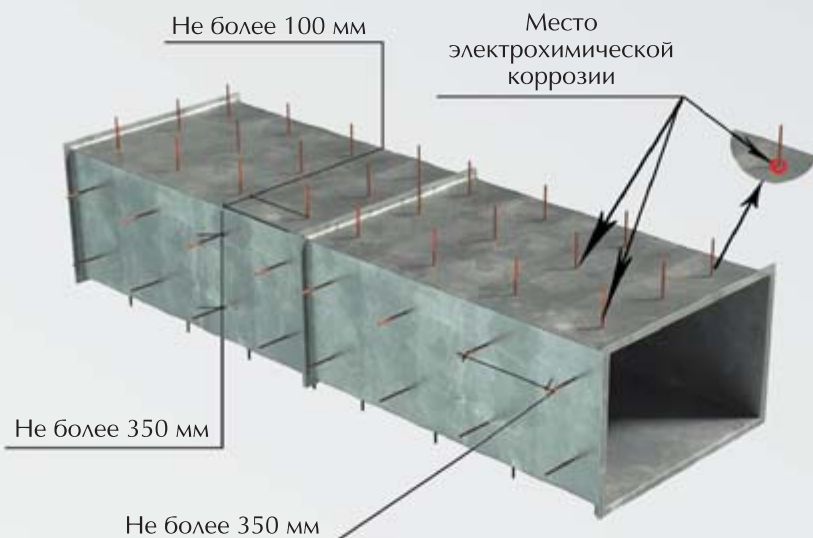
Подавляющее большинство воздуховодов выполняется из оцинкованной стали. В местах приварки шпилек под воздействием высоких температур цинковое покрытие выгорает. В процессе эксплуатации в результате конденсации на такие места попадает вода. Цинк и железо в сочетании с водой превращаются в гальванический элемент, который служит катализатором процесса коррозии. Через пару лет эксплуатации такой воздуховод превратится в решето.

Крепление матов с помощью металлической ленты или проволоки, предлагаемое как альтернативный вариант монтажа, не выдерживает никакой критики, так как все знают о высокотемпературных деформационных изменениях данного крепежа.

Минеральная вата без покрытия, а также металлическая сетка в качестве наружного крепления матов способствуют интенсивной концентрации пыли и других горючих веществ в ячейках облицовки, а пыль является горючим и даже взрывоопасным веществом.

Вот такие системы, по мнению членов компании “Росизол”, надо применять на российских объектах. Добропорядочные заказчик, инвестор, подрядчик прекрасно осведомлены о недостаточности пожарной безопасности материалов “Rockwool” и “Технониколь”, поэтому предпочтение отдают изделиям из супертонкого базальтового волокна.

Вообще вызывает удивление, с какой настойчивостью “Росизол” старается выделить из фольгированного базальтового огнезащитного рулонного материала (МБОР) органические составляющие, находящиеся там в ничтожно малых количествах, и испытать их на горючесть по отдельности. Сле-



*Предлагаемая компаниями "Rock-wool" и "Технониколь" монтажная схема приварки шпилек на воздуховоды*

дую такой логике, можно выделить и отдельно испытать на горючесть то связующее, которое находится в материалах на основе минеральной ваты. Вывод будет однозначный — материал горючий.

Для того чтобы закончить этот спор, предлагаю изъять фрагменты идентичных воздуховодов, защищенных различными системами и эксплуатируемых на похожих объектах не менее 5 лет, и испытать их на огнестойкость. Результаты такого теста наглядно покажут, можно ли применять те или иные материалы для повышения огнестойкости воздуховодов и какова их надежность. Причем процедуры определения объектов, изъятия фрагментов воздуховодов и сами испытания должны быть максимально публичными, с приглашением всех заинтересованных сторон и средств массовой информации.

Пойдут ли на такой шаг "Росизол" и его члены либо предпочтут по-старому, исподтишка, очернять продукты своих конкурентов, решать, конечно, им.

ОАО "ТИЗОЛ" по-прежнему остается максимально открытым для своих партнеров и конкурентов и всегда отвечает за высокое качество своих материалов.

Более того, "ТИЗОЛ" в рамках программы повышения качества выпускаемых материалов по-

строил и запустил печь для огневых испытаний средств огнезащиты для стальных конструкций и противопожарных дверей.

По инициативе "ТИЗОЛ" Союз предприятий стройиндустрии составляет программу мониторинга средств огнезащиты, обращающихся на строительном рынке Свердловской области. Старт данной программы намечен на начало 2016 г. Будет осуществляться публичный отбор применяемых средств огнезащиты непосредственно на стройплощадках региона. На запущенной печи будут проводиться публичные огневые испытания отобранных материалов в строгом соответствии с действующими нормативами. Результаты данных испытаний будут представлены и в контролирующие органы, и на суд общественности. Реализация данной программы должна стать надежным барьером для проникновения на рынок фальсификатных материалов, которые на бумаге имеют прекрасные огнезащитные характеристики, а на деле применение их может вызвать угрозу жизни и значительный материальный ущерб.

Отдельно приглашаем на такие испытания наших коллег-фальсификаторов, декларирующих в своих сертификатах толщины МБОР, которые в разы меньше толщин, реально обеспечивающих требуемую огнестойкость.

© Е. Б. КУЗНЕЦОВ

Заместитель главного инженера ОАО "ТИЗОЛ"

(Россия, 624223, Свердловская обл.,  
г. Нижняя Тура, ул. Малышева, 59;  
e-mail: oom@tizol.com)



**Ф. А. ШУТОВ**, д-р техн. наук, профессор РГХТУ им. Д. И. Менделеева (Россия, 125047, г. Москва, ул. Миусская, 9; e-mail: fashutov@mail.ru)

**Е. Ю. КРУГЛОВ**, научный сотрудник Учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: 89268196698@mail.ru)

**Р. М. АСЕЕВА**, д-р хим. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: rm-aseeva@yandex.ru)

**Б. Б. СЕРКОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: serkov@antip.ru)

**А. Б. СИВЕНКОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

УДК 641.841

## ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО ПЕНОКОМПОЗИТА "РЕНОСОМ" НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Проведены маломасштабные огневые испытания при стандартном режиме пожара трех систем ограждающих конструкций, моделирующих фрагменты стен и перегородок в деревянных зданиях легкого каркасного типа. Выполнен анализ влияния теплоизоляции из пенокомпозиата "Реносом" с плотностью 43,7–140 кг/м<sup>3</sup> на огнестойкость конструкций. Показано, что фактический предел огнестойкости ограждающих конструкций по потере целостности (Е) и теплоизолирующей способности (I) составил 95–110,3 мин. Выявлена тенденция к увеличению предела огнестойкости четырехслойных конструкций с уменьшением плотности пенокомпозиата "Реносом" с 83 до 43,7 кг/м<sup>3</sup>. Измерены средние значения плотности теплового потока в маломасштабной огневой печи при стандартном режиме пожара в разные моменты его развития. Показано, что полученные в экспериментах значения плотности теплового потока согласуются с зависимостью, установленной при испытаниях в стандартных крупномасштабных устройствах. Рассчитана плотность тепловых потоков на поверхности элементов конструкций и значения их коэффициентов теплопроводности.

**Ключевые слова:** древесина; огнестойкость; ограждающие каркасные конструкции; теплоизоляция; полимерный пенокомпозит.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37

### Введение

Применение натуральной древесины в качестве материала для строительства зданий и сооружений различного назначения имеет многовековую историю. Горючесть и высокая пожарная опасность древесины являются одним из главных недостатков, надолго ограничившим область ее применения малоэтажным домостроением. Индустриальное производство новых конструкционных материалов из древесины дало возможность использовать прогрессивные каркасные и каркасно-панельные технологии в строительстве не только малоэтажных деревянных зданий и сооружений. Открыты также перспективы строительства среднеэтажных (от 3 до 10 этажей [1]) и даже высотных (до 30–42 этажей [1–3])

зданий с использованием в основном массивных, крупногабаритных деревянных конструкций с несущими и ограждающими функциями.

Взросший интерес к применению деревянных каркасных конструкций в строительстве высоких сооружений обусловлен рядом их преимуществ по сравнению с конструкциями из других строительных материалов [4]. Помимо наличия возобновляемого сырья, экологически более чистого и менее энергозатратного производства продукции на основе древесины, следует отметить ее стойкость к агрессивным средам и высокую механическую прочность при относительно малой плотности древесины. Благодаря последнему обстоятельству деревянные конструкции имеют более низкую массу по сравне-

нию с конструкциями из других материалов, что позволяет снизить нагрузку здания на фундамент и трудозатраты на его возведение.

Проектирование и строительство высоких зданий с применением деревянных конструкций основаны на общей концепции обеспечения безопасности жизни людей: пожар и токсичный дым не должны распространяться за пределы помещения пожара, а несущие элементы должны сохранять свою устойчивость в течение нормированного периода времени, что обеспечит условия своевременной безопасной эвакуации и спасения людей. Стратегия такого подхода выражена стремлением достичь такого уровня качества высоких деревянных каркасных зданий, при котором они были бы эквивалентны по огнестойкости зданиям с негорючими конструкциями. В частности, желательно достижение двухчасового предела огнестойкости критических конструктивных элементов и частей здания [1]. Проблема решается применением спринклерных систем и систем дымоудаления (снижающих уровень опасности по анализу риска на 70 %), регулированием скорости и глубины обугливания деревянных элементов каркаса за счет увеличения сечения несущих нагрузку элементов, а также полной изоляцией последних с помощью конструктивной огнезащиты или использованием гибридных бетонно-деревянных конструкций [1, 2].

В настоящее время в России с применением массивных деревянных клееных конструкций в качестве несущего каркаса построен целый ряд большепролетных сооружений, например: крытый каток пролетом 58 м (г. Тверь), склад минеральных удобрений пролетом 63 м и высотой в коньке арок 45 м (морской порт, г. Санкт-Петербург) и др. [5]. В жилом секторе малоэтажного деревянного домостроения, при возведении зданий офисов, небольших торговых центров главным образом используют облегченные деревянные каркасные конструкции (*light timber frame constructions*). За рубежом ведется активное строительство среднеэтажных зданий каркасного типа с облегченными деревянными конструкциями. Полагают, что такие конструкции пригодны для зданий не выше 5–6 этажей [1, 2].

Первичным признаком отличия легких деревянных каркасных конструкций от массивных (*heavy timber frame constructions*) служит размер сечения деревянных элементов. Принимают, что минимальный размер сечения облегченного каркаса из древесины не превышает 80 мм [2].

Легкие деревянные каркасные конструкции с несущими и ограждающими функциями являются многослойными и состоят из деревянного каркаса, обшивок (облицовочных плит) и теплоизоляции в пространстве между ними. В европейском стандарте

по проектированию деревянных каркасных сооружений [6] и рекомендациях по огнестойкости деревянных конструкций [7], разработанных по результатам стандартных крупномасштабных испытаний и расчетов вклада отдельных слоев конструкций по методу конечных элементов, отражена роль разных комбинаций материалов в общей каркасной системе. Установлена иерархия вклада различных слоев в огнестойкость деревянной конструкции в целом [8]. Особенно важен вклад в огнестойкость всей конструктивной системы слоев, подвергаемых прямому воздействию пожара. Следует отметить особую роль негорючей теплоизоляции, которая повышает огнестойкость деревянного каркаса [9].

Необходимо заметить, что теплоизоляционные материалы на органической полимерной основе были исключены из рассмотрения в работах [6, 7]. Между тем, они достаточно широко используются в строительстве. Особенно это касается теплоизоляции из пенополистирола и его модификаций. Стандартные испытания пожарной опасности блочного самозатухающего пенополистирола ПСБ-С (ГОСТ 15588–86) от разных производителей (с плотностью 25–50 кг/м<sup>3</sup>) показали, что он относится к группе горючести Г3 и Г4, воспламеняемости В2 и В3, дымообразующей способности Д3. Материал имеет высокую теплоту сгорания ( $Q_n = 41,2$  МДж/кг) и низкое значение кислородного индекса (КИ = 20 %). Плавится он при температуре около 200 °С, а при 310 °С — воспламеняется. Теплопроводность ПСБ-С находится в пределах 0,035–0,037 Вт/(м·К). Испытания при режиме стандартного пожара фрагментов стен из трехслойных панелей со стальными или асбоцементными обшивками и ПСБ-С с плотностью  $\rho = 30\div 35$  кг/м<sup>3</sup> показали, что утеплитель воспламеняется через 3–4 мин одностороннего нагрева, а затем происходит скрытое распространение горения внутри конструкции, сопровождающееся образованием расплава, дыма и токсичных газов. Этот процесс продолжается до полного выгорания теплоизоляции даже при удалении источника теплового воздействия на конструкцию. Навесные стены с обшивками из тонких металлических листов или асбоцементных плит толщиной  $\delta = 10$  мм и теплоизоляцией ПСБ-С независимо от ее толщины были отнесены к группе сгораемых конструкций с пределом огнестойкости 0,1–0,2 ч. Теплоизоляционные материалы из “самозатухающего” экструзионного и блочного пенополистирола не рекомендованы для применения на важных строительных объектах [10, 11].

В настоящее время в строительной индустрии популярность приобретают так называемые SIP-панели (*Structural Insulated Panels*), для соединения которых используют элементы деревянного каркаса. SIP-панели представляют собой многослойные

конструкции из теплоизоляции и негорючих или сгораемых облицовок, приклеиваемых прямо к теплоизоляции разными адгезивами. Отсутствие в SIP-панелях воздушных зазоров и металлических узлов соединения повышает их предел огнестойкости.

В 2013 г. были проведены крупномасштабные испытания по стандартам ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ 30247.1–94 SIP-панелей фирмы “Хотвелл” с теплоизоляцией из самозатухающего ПСБ-С [12]. Конструкция наружной несущей стены из SIP-панели с теплоизоляцией ПСБ-С 25 толщиной 150 мм, внешней обшивкой OSB (*Oriented Strand Boards*) толщиной 12 мм и внутренней облицовкой гипсоволокнистым листом (ГВЛ) толщиной 2,5 мм при равномерно распределенной нагрузке 1500 кг на 1 м показала предел огнестойкости 60 мин (R60). При облицовке двумя слоями ГВЛ предел огнестойкости конструкции по несущей способности возрастал до 90 мин [13, 14]. Если учесть низкую температуру плавления и склонность ПСБ-С к скрытому горению, то огнестойкость подобных конструкций при пожаре по теплоизолирующей способности (I) остается под вопросом.

Объемы применения в строительстве малоэтажных зданий и сооружений в Российской Федерации другого теплоизоляционного материала из сгораемого пенополиуретана (ППУ) очень малы из-за высокой токсичности продуктов его горения (цианиды, фосген) и более высокой стоимости по сравнению с ПСБ-С. За рубежом не ослабевает интерес к использованию в строительстве теплоизоляционных материалов на органической основе [13, 15].

Ранее были показаны перспективы применения в качестве теплоизоляции в деревянных зданиях и сооружениях легкого каркасного типа неплавкого, трудносгораемого полимерного пенокомпозиата “Репосом” (РС) [16–18]. Важно отметить, что этот инновационный материал при огневом воздействии обугливается, не теряя формы, а образовавшийся пенококс не тлеет после удаления источника нагрева и продолжает выполнять в конструкции функцию термостойкой теплоизоляции.

Цель данной работы — выяснить влияние свойств теплоизоляции из пенокомпозиата “Репосом” разной плотности на огнестойкость трех систем ограждающих деревянных конструкций, моделирующих фрагменты ненесущих стен и перегородок в деревянных зданиях легкого каркасного типа при стандартном температурно-временном режиме пожара. Кроме того, представлялось важным измерить плотность теплового потока в огневой печи по мере развития стандартного пожара и оценить плотность тепловых потоков на поверхности элементов конструкций в этих условиях.

## Объекты и методы исследования

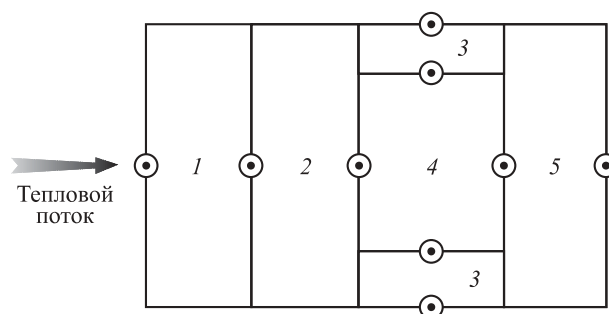
Объектом исследования были два образца четырехслойных конструкций (№ 1 и 2) и один образец трехслойной конструкции (№ 3) с площадью поверхности, подвергаемой одностороннему нагреву,  $0,30 \times 0,37 \text{ м}^2$ . Деревянные стойки изготовлены из сосновых досок толщиной 50 мм, с плотностью древесины  $\rho = 464 \text{ кг/м}^3$ . В качестве облицовок конструкций со стороны огневого воздействия использовали только негорючие стекломagnesитовые плиты (СМЛ), а с ненагреваемой стороны — как СМЛ, так и сгораемые плиты OSB ( $\rho = 727 \text{ кг/м}^3$ ). В образцах конструкций применялся полимерный композит плотностью 43,7; 83 и 140 кг/м<sup>3</sup>.

Слои в образцах располагались в такой последовательности (со стороны огневого воздействия):

- № 1: два слоя СМЛ ( $\delta = 0,006 \text{ м}$ ) – слой теплоизоляции “Репосом” ( $\delta = 0,15 \text{ м}$ ,  $\rho = 43,7 \text{ кг/м}^3$ ) – плита OSB ( $\delta = 0,009 \text{ м}$ );
- № 2: слой СМЛ 1 ( $\delta = 0,006 \text{ м}$ ) – слой СМЛ 2 ( $\delta = 0,01 \text{ м}$ ) – слой теплоизоляции “Репосом” ( $\delta = 0,15 \text{ м}$ ,  $\rho = 83 \text{ кг/м}^3$ ) – плита OSB ( $\delta = 0,009 \text{ м}$ );
- № 3: слой СМЛ ( $\delta = 0,006 \text{ м}$ ) – слой теплоизоляции “Репосом” ( $\delta = 0,15 \text{ м}$ ,  $\rho = 140 \text{ кг/м}^3$ ) – слой СМЛ ( $\delta = 0,006 \text{ м}$ ).

Крепление облицовочных плит к стойкам деревянного каркаса выполнено с помощью металлических саморезов длиной 4 см.

Испытание образцов на огнестойкость проводили в маломасштабной огневой печи с огневой камерой размером  $0,5 \times 0,39 \times 0,4 \text{ м}$ . В камере с помощью специально регулируемой газовой горелки устанавливали стандартный температурно-временной режим пожара в соответствии с [12, 15]. Температура в печи и в контрольных точках на поверхности, подвергаемой одностороннему огневому воздействию, на ненагреваемой поверхности конструкции, а также внутри нее (рис. 1) регистрировалась автоматически в процессе испытания.



**Рис. 1.** Схема расположения элементов ограждающей деревянной каркасной конструкции и контрольных точек температурных измерений: 1, 2 — облицовочные плиты со стороны огневого воздействия; 3 — деревянные стойки; 4 — теплоизоляция; 5 — облицовочная плита на обратной стороне конструкции; ⊙ — термодатчики

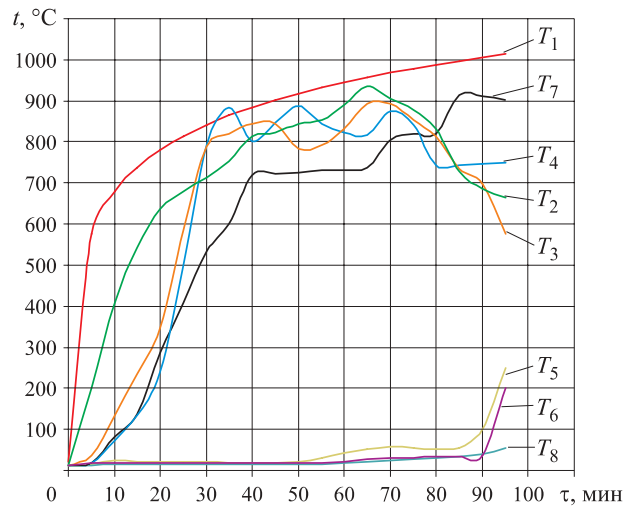
Предел огнестойкости ограждающих конструкций определяли по времени потери целостности (Е) и теплоизолирующей способности (И), определяемой временем достижения критической максимальной температуры 180 °С на ненагрываемой стороне конструкции. Вклад каждого слоя в общую огнестойкость конструкции оценивали по температурным кривым в предположении, что начало обугливания древесины и OSB возможно после достижения на тыльной стороне огнезащитной плиты или теплоизоляции температуры 270 °С [7, 19]. Среднюю плотность в огневой печи при стандартном режиме пожара определяли путем измерения плотности теплового потока при горении пропан-бутановой газовой смеси. Плотность тепловых потоков измерялась водоохлаждаемым датчиком полного потока (датчик Гордона), температура пламени — хромель-алюмелевой термопарой с регистрацией сигналов на приборе ИРТМ.

### Результаты и их обсуждение

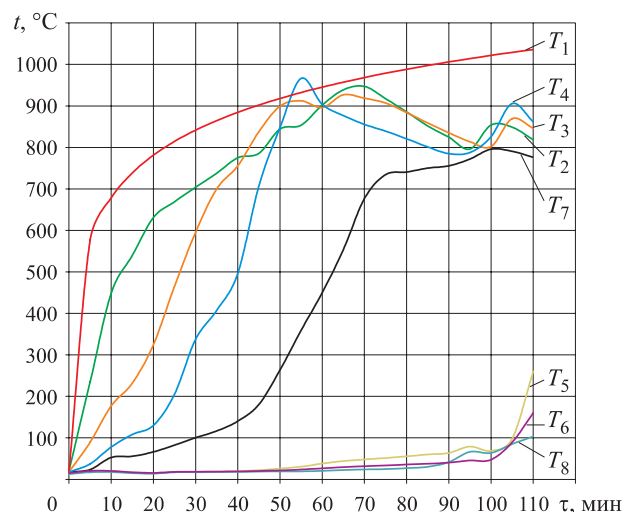
В настоящее время во всех индустриально развитых странах наблюдается опережающий рост производства и потребления в строительстве теплоизоляционных материалов из полимерных пенопластов на основе термореактивных смол (~5 % в год) по сравнению с ростом производства всей мировой полимерной продукции (2–2,5 % в год).

В России в связи с массовым строительством малоэтажных деревянных зданий и сооружений легкого каркасного типа ощущается острая потребность в пожаробезопасных полимерных теплоизоляционных материалах из относительно недорогого и доступного отечественного сырья. Разработанный теплоизоляционный материал “Репосом” отвечает этим требованиям. Он выпускается в промышленном масштабе ООО “Пеноком” (г. Москва) с 2012 г. и изготавливается по заливочной энергосберегающей технологии без подвода тепла и давления извне. Плотность пенокомполита “Репосом” может варьироваться в широких пределах (от 30 до 500 кг/м<sup>3</sup>), а значит, в широком диапазоне могут изменяться его теплопроводность и прочностные свойства. По результатам стандартных испытаний пенокомполита “Репосом” он сертифицирован как материал слабогорючий Г1, средней воспламеняемости В2, с умеренным дымообразованием Д2.

Фактический предел огнестойкости ограждающих деревянных конструкций определяли по потере их теплоизолирующей способности с момента ввода образцов в огневую камеру. На рис. 2 и 3 показана динамика изменения температуры в печи при стандартном режиме пожара, а также на поверхности элементов четырехслойных конструкций, близких по своему устройству.



**Рис. 2.** Динамика изменения температуры в огневой печи ( $T_1$ ) и контрольных точках на поверхности элементов конструкции (образец № 1):  $T_2, T_3$  — на нагреваемой и тыльной сторонах СМЛ 1;  $T_4$  — на тыльной стороне СМЛ 2 (нагреваемая сторона теплоизоляции “Репосом”);  $T_5$  — на тыльной стороне “Репосом” (нагреваемая сторона OSB);  $T_6$  — на ненагреваемой стороне конструкции;  $T_7, T_8$  — на нагреваемой и ненагреваемой сторонах стойки



**Рис. 3.** Динамика нарастания температуры в огневой печи ( $T_1$ ) и на поверхности элементов конструкции (образец № 2):  $T_2$  — на нагреваемой стороне СМЛ 1;  $T_3$  — на тыльной стороне СМЛ 1 (нагреваемая сторона СМЛ 2);  $T_4$  — на поверхности теплоизоляции (тыльная сторона СМЛ 2);  $T_5$  — на тыльной стороне теплоизоляции “Репосом” (нагреваемая поверхность OSB);  $T_6$  — на ненагреваемой стороне OSB;  $T_7$  — на нагреваемой стороне стойки;  $T_8$  — на внешней поверхности стойки

Фактический предел огнестойкости ограждающей конструктивной системы образца № 1  $P_{\phi} = 97,2$  мин. Согласно аддитивному методу он состоит из вкладов элементов ограждающей конструкции:

$$P_{\phi} = \sum P_{\phi i} = P_{\text{СМЛ 1}} + P_{\text{СМЛ 2}} + P_{\text{PC}} + P_{\text{OSB}} = 18,6 + 4 + 73,7 + 0,9 = 97,2 \text{ мин.}$$

Таким образом, вклад двух негорючих облицовок СМЛ в теплоизолирующую способность рассматриваемой ограждающей деревянной каркасной конструкции составляет 23,3 %, а полимерного пенокомпозиата “Репосом” — 76,7 %. На тыльной стороне теплоизоляции температура 270 °С достигается только через 96,3 мин после начала испытания. Плита OSB мало влияет на общую огнестойкость конструкции по теплоизолирующей способности (I), несмотря на то что до конца испытания она полностью сохраняла свою целостность.

В четырехслойной ограждающей конструкции № 2 использована теплоизоляция, плотность которой была почти вдвое меньше по сравнению с образцом № 1.

В результате анализа температурных измерений установлено, что фактический предел огнестойкости этой ограждающей конструкции достигает 110,3 мин. Согласно аддитивному методу он представляет собой сумму вкладов отдельных элементов конструкции:

$$\begin{aligned} P_{\Phi} &= \sum P_{\Phi i} = P_{\text{СМЛ } 1} + P_{\text{СМЛ } 2} + P_{\text{РС}} + P_{\text{OSB}} = \\ &= 15,9 + 12,1 + 82 + 0,3 = 110,3 \text{ мин.} \end{aligned}$$

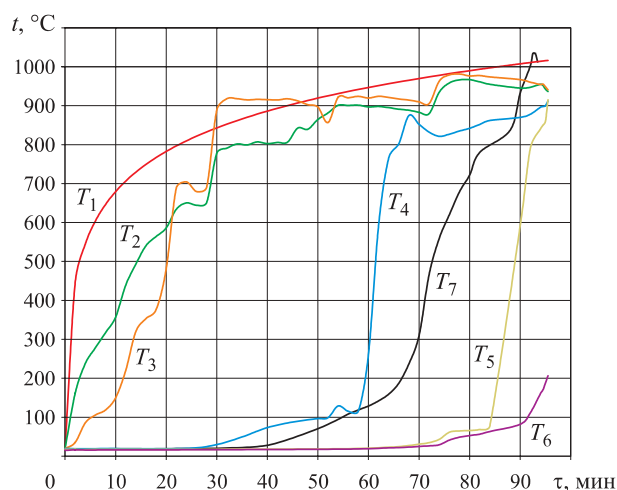
В данном случае вклад двух слоев СМЛ в предел огнестойкости конструкции образца № 2 составляет 25,3 %, а пенокомпозиата “Репосом” — 74,3 %. Как и прежде, вклад облицовочной плиты OSB в огнестойкость используемой ограждающей деревянной каркасной системы невелик, несмотря на то что плита в течение всего испытания оставалась целой. Температура 270 °С на поверхности стоек со стороны огневого воздействия достигалась лишь на 51-й минуте испытания, а с ненагреваемой стороны оставалась ниже 100 °С до конца испытания. Сравнение температурных измерений для этих образцов четырехслойных конструкций показало явную тенденцию к увеличению положительного влияния на предел огнестойкости конструкции теплоизоляции с низкой плотностью. Ее вклад возрастал, несмотря на увеличение толщины СМЛ и системы в целом.

На рис. 4 представлена динамика прогрева элементов образца № 3 деревянной каркасной конструкции при стандартном режиме пожара.

Фактический предел огнестойкости этой ограждающей деревянной конструкции состоит из следующих вкладов ее элементов:

$$\begin{aligned} P_{\Phi} &= \sum P_{\Phi i} = P_{\text{СМЛ } 1} + P_{\text{РС}} + P_{\text{СМЛ } 2} = \\ &= 13 + 75 + 7 = 95 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что уменьшение толщины и эффективности первого слоя огнезащиты конструкции приводит к увеличению роли теплоизоляции, а также негорючей облицовки на необогреваемой стороне конструкции



**Рис. 4.** Динамика прогрева элементов ограждающей деревянной конструкции (образец № 3) при стандартном режиме пожара ( $T_1$ ):  $T_2$ ,  $T_3$  — температура на нагреваемой и тыльной поверхностях СМЛ 1 (нагреваемая сторона теплоизоляции “Репосом”);  $T_4$  — внутри утеплителя “Репосом” на расстоянии от обогреваемой стороны 75 мм;  $T_5$  — на ненагреваемой стороне “Репосом”;  $T_6$  — на ненагреваемой стороне СМЛ 2;  $T_7$  — на поверхности стойки со стороны утеплителя

по сравнению с OSB. Обугливание деревянной стойки со стороны утеплителя начинается на 71-й минуте. К концу испытания, судя по фотографии стойки на рис. 5, обугленный слой со стороны теплоизоляции имеет толщину около 15 мм. В среднем скорость обугливания стойки в этих условиях составляет:  $15 \text{ мм} / (95 - 71) \text{ мин} = 0,62 \text{ мм/мин}$ , т. е. меньше, чем при прямом воздействии огня на древесину ( $0,80 \text{ мм/мин}$ ).

Зная плотность тепловых потоков в огневой печи при стандартном режиме пожара и температурные характеристики на поверхности элементов конструкции, можно получить важную информацию об ограждающей системе в целом и ее элементах. Как следует из табл. 1, плотность теплового потока в огневой печи при стандартном режиме пожара в период со 2-й по 58-ю минуту с начала испытаний изменяется с 17 до 90 кВт/м<sup>2</sup>, возрастая по степенному закону:  $q'' = 17,2\tau^{0,4}$  (где  $\tau$  — время испытания, мин). Полученная степенная зависимость плотности теплового потока от времени в маломасштабной огневой печи согласуется с зависимостью, установленной в стандартных крупномасштабных испытаниях для средней плотности теплового потока:  $q'' = 18\tau^{0,4}$  [20].

Таким образом, при стандартном температурно-временном режиме пожара исследуемые образцы ограждающих деревянных каркасных конструкций с пределом огнестойкости 95–110 мин к концу испытаний подвергаются действию теплового потока плотностью выше 100 кВт/м<sup>2</sup>.

**Таблица 1.** Плотность теплового потока в огневой печи при стандартном режиме пожара

| $T_{\text{печ}}, ^\circ\text{C}$ | $\tau, \text{мин}$ | $q'', \text{кВт/м}^2$ |
|----------------------------------|--------------------|-----------------------|
| 318                              | 2                  | 17                    |
| 350                              | 2,5                | 21                    |
| 400                              | 3                  | 23                    |
| 450                              | 4                  | 26                    |
| 518                              | 5                  | 32                    |
| 608                              | 7                  | 38                    |
| 650                              | 10                 | 39                    |
| 700                              | 15                 | 46                    |
| 750                              | 20                 | 52                    |
| 808                              | 30                 | 57                    |
| 850                              | 40                 | 63                    |
| 905                              | 45                 | 73                    |
| 1000                             | 58                 | 90                    |

Измерение температуры на поверхности элементов ограждающей конструкции на начальной стадии развития пожара позволяет определить плотность падающих на поверхность элементов конструкции тепловых потоков и оценить коэффициент теплопроводности используемых материалов.

В качестве примера приведем расчет плотности теплового потока и коэффициентов теплопроводности элементов образца ограждающей конструкции № 3.

Суммарный тепловой поток  $q''_{\Sigma}$  (Вт/м<sup>2</sup>) от газовой среды пожара к поверхности конструкции складывается из потоков, переносимых конвекцией  $q''_{\text{конв}}$  (Вт/м<sup>2</sup>) и излучением  $q''_{\text{л}}$  (Вт/м<sup>2</sup>):

$$q''_{\Sigma} = q''_{\text{конв}} + q''_{\text{л}};$$

$$q''_{\text{конв}} = \alpha (T_{\text{печ}} - T_{w1});$$

$$q''_{\text{л}} = \varepsilon \sigma (T_{\text{печ}}^4 - T_{w1}^4),$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha = 15 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;

$T_{\text{печ}}$  — температура газовой среды в огневой печи, К;

$T_{w1}$  — температура на нагреваемой поверхности СМЛ, К;

$\varepsilon$  — степень черноты среды;  $\varepsilon = 0,6$  для чисел Бугера  $Bu \leq 1$ ;

$\sigma$  — константа Стефана – Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

По значениям суммарного теплового потока на нагреваемую поверхность СМЛ 1, установленным для определенного момента развития стандартного пожара, рассчитаем коэффициент теплопроводности  $\lambda$  (Вт/(м·К)) для СМЛ 1 ( $\delta = 0,006 \text{ м}$ ;  $\rho = 1057 \text{ кг/м}^3$ ):

$$\lambda_{\text{СМЛ 1}} = q''_{\Sigma} \delta / (T_{\text{печ}} - T_{w1}).$$

**Таблица 2.** Коэффициент теплопроводности СМЛ при стандартном режиме пожара

| $\tau, \text{мин}$ | $T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$ | $\lambda_{\Sigma}, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|
| 0                  | 20                              | 0,26 [18]                                      |
| 2                  | 98                              | 0,456                                          |
| 4                  | 161                             | 0,521                                          |
| 6                  | 192                             | 0,472                                          |
| 8                  | 218                             | 0,486                                          |
| 16                 | 446                             | 0,647                                          |
| 18                 | 470                             | 0,609                                          |
| 20                 | 530                             | 1,090                                          |

Например, при  $\tau = 2$  мин и температуре  $T_{\text{ср}} = 98 ^\circ\text{C}$ , которая определяется как средняя между температурами на нагреваемой ( $T_{w1}$ ) и ненагреваемой ( $T_{w2}$ ) поверхностях СМЛ ( $T_{\text{ср}} = (T_{w1} + T_{w2})/2$ ), коэффициент теплопроводности СМЛ составит:

$$\lambda_{\Sigma [2]} = [15 \cdot (677 - 434) + 0,6 \cdot 5,669 \cdot 10^{-8} \times (677^4 - 434^4)] \cdot 0,006 / (434 - 308) =$$

$$= [3585 + (6977,8 - 1206,7)] \cdot 0,006 / 126 =$$

$$= 56,5 / 126 = 0,456 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

В табл. 2 приведены значения коэффициента теплопроводности СМЛ, рассчитанные аналогичным образом при повышении температуры в процессе развития стандартного пожара в течение 20 мин. Далее пиролиз и обугливание теплоизоляции влияют на величину  $T_{w2}$ .

Для оценки теплопроводности теплоизоляции “Репосом” с плотностью  $140 \text{ кг/м}^3$  используем уравнение нестационарной теплопроводности и краевые условия на нагреваемой и ненагреваемой сторонах этого элемента конструкции при толщине пенокомпозита  $0,075 \text{ м}$ . Приняты следующие допущения:

- 1) на границе между элементами конструкции (слоем СМЛ 1 и поверхностью теплоизоляции) имеется идеальный контакт и соблюдается условие равенства температур:  $T_{w2} = T_{w3}$ ;
- 2) до температуры начала разложения в пенокомпозите не происходят физико-химические превращения; форма и объем этого элемента конструкции практически не изменяются. Пенокомпозит рассматривается как пористый материал с неразлагающимся каркасом;
- 3) теплопроводность и излучение играют доминирующую роль в переносе тепла в слое теплоизоляции.

Расчет коэффициентов теплопроводности “Репосом” проведен для интервала 6–12 мин (включительно) с начала развития стандартного пожара, когда на поверхности теплоизоляции температура достигает  $220 ^\circ\text{C}$  и становится возможной деструкция пенокомпозита.

Уравнение нестационарной теплопроводности в рассматриваемом слое элемента конструкции с учетом вектора потока можно представить в виде:

$$c' \rho' (1 - \varphi) \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\operatorname{div} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \operatorname{div} q''_{\text{л}}, \quad (1)$$

где  $c'$  — удельная теплоемкость каркаса полимерного пенокомпозиата, Дж/(кг·К);

$\rho'$  — плотность каркаса полимерного пенокомпозиата, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho' (1 - \varphi) = \rho_0 = 140$  кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  — пористость материала;

$\rho_0$  — исходная плотность пенокомпозиата;

$q''_{\text{л}}$  — лучистый тепловой поток;

$q''_{\text{л}} = \varepsilon \sigma (T_3^4 - T_4^4)$  (см. обозначения на рис. 4).

Удельная теплоемкость пенокомпозиата практически не зависит от его плотности и соответствует теплоемкости каркаса:  $c' = c = 1600$  Дж/(кг·К). Преобразуя уравнение (1), получим:

$$\lambda \Delta T / \delta = q''_{\text{л}} - c \rho_0 \delta (T_3 - T_4) / \Delta \tau = q'',$$

откуда  $\lambda = q'' \delta / \Delta T$ .

При средней температуре слоя теплоизоляции  $T_{\text{ср}} = (106 + 19) / 2 = 62,5$  °С коэффициент теплопроводности пенокомпозиата  $\lambda^{(62,5)} = 0,0417$  Вт/(м·К), что согласуется с данными, полученными стандартным методом определения теплопроводности пенокомпозиата “Penocom” [17].

При увеличении средней температуры рассматриваемого слоя теплоизоляции “Penocom” в усло-

виях стандартного пожара ее коэффициент теплопроводности растет следующим образом:  $\lambda^{(69)} = 0,0675$  Вт/(м·К);  $\lambda^{(84,5)} = 0,1319$  Вт/(м·К);  $\lambda^{(119)} = 0,3075$  Вт/(м·К).

### Заключение

Полученные результаты показывают эффективность полимерного пенокомпозиата “Penocom” в качестве теплоизоляционного материала для ограждающих деревянных конструкций каркасного типа. Установлен значительный вклад теплоизоляции в огнестойкость ограждающих конструкций, а также влияние плотности пенокомпозиата на предел их огнестойкости. Применение теплоизоляции “Penocom” позволяет достигнуть фактического предела огнестойкости несущих ограждающих деревянных каркасных конструкций по потере целостности (Е) и теплоизолирующей способности (I) 95–110 мин. Измеренные значения плотности теплового потока в используемой маломасштабной печи при стандартном режиме пожара согласуются со степенной зависимостью средней плотности теплового потока от времени развития пожара, установленной при испытаниях в крупномасштабных стандартных огневых устройствах:  $q'' = 18\tau^{0,4}$ . По изменению температуры на поверхности элементов конструкции рассчитаны плотности падающих тепловых потоков; проведена оценка коэффициентов теплопроводности СМЛ и полимерного пенокомпозиата “Penocom”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buchanan A., Östman B., Frangi A. Fire resistance of timber structures: a report for the National Institute of Standards and Technology. URL: [www.nist.gov/el/fire\\_research/upload/NIST-Timber-Report-v4-Copy.pdf](http://www.nist.gov/el/fire_research/upload/NIST-Timber-Report-v4-Copy.pdf) (дата обращения: 20.10.2015).
2. Barber D., Gerard R. High-rise timber buildings // Fire Protection Engineering, July 2014. URL: [http://www.sfpe.org/?page=2014\\_Q3\\_1](http://www.sfpe.org/?page=2014_Q3_1) (дата обращения: 20.10.2015).
3. 10 of the best wooden skyscrapers. URL: <https://www.worldbuild365.com/news/detail/sawxeob2a/building-architecture/10-of-the-best-wooden-skyscrapers> (дата обращения: 20.10.2015).
4. Казейкин В. С., Баронин С. А., Черных А. Г., Андросов А. Н. Проблемные аспекты развития малоэтажного жилищного строительства в России. — М.: ИНФРА М, 2011. — 278 с.
5. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
6. BS EN 1995-1-2:2004; Eurocode 5: Design of timber structure. Part 1-2: General — Structural fire design. — Belgium, Brussels: CEN, 2004.
7. Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe / SP Report 2010:19. URL: [http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire\\_Timber\\_Ch\\_5-7.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf) (дата обращения: 10.10.2015).
8. White R. H. Analytical methods for determining fire resistance of timber members // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. — New York: Springer, 2016. — P. 1979–2011. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_55.
9. White R. H. Fire resistance of wood with members with directly applied protection // Proceedings of 11<sup>th</sup> International Conference and Exhibition “Fire and Materials 2009”. — UK, London: Interscience Communications, 2009. — 971 p. URL: <http://naldc.nal.usda.gov/download/44930/PDF> (дата обращения: 10.10.2015).

10. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 40–45.
11. Лукьянов А. М., Корольченко Д. А., Агапов А. Г. О пожароопасности древесины при возведении мостов // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 4 (42). — С. 158–162.
12. Сайт HotWell. SIP-технологии. URL: [www.hotwell.ru](http://www.hotwell.ru) (дата обращения: 10.10.2015).
13. Fire resistance of timber frame wall construction // PU EUROPE excellence in insulation. — February 2013. — Factsheet no. 20. URL: <http://ecotermix.ru/wp-content/uploads/2013/12/Test-PU-Europe.pdf> (дата обращения: 10.10.2015).
14. Just A., Schmid J., König J. Gypsum plasterboards used as fire protection — analysis of a database / SP Report 2010:29. — Stockholm, 2010.
15. Sultan M. A. Factors affecting fire resistance performance of lightweight frame floor assemblies // Proceedings of 8<sup>th</sup> International Fire Science and Engineering Conference. Interflam'99. — Scotland, Edinburg, 1999. — P. 897–910.
16. Шутов Ф. А. Огнестойкие материалы для снижения пожарной опасности малоэтажных объектов из древесины // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2014. — № 3 (55). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-3/22-03-14.ttb.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).
17. Шутов Ф. А., Ярборо Д. Теплоизоляционные и экологические характеристики огнестойкого полимерного пенокомпозиата PENOCOM® // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2014. — № 4 (56). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/37-04-14.ttb.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).
18. Круглов Е. Ю., Шутов Ф. А., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Огнестойкость ограждающих легких деревянных каркасных конструкций с теплоизоляцией из пенокомпозиата “Penocom” // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 3. — С. 63–70.
19. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции (актуализированная ред. СНиП II-25–80). — Введ. 20.05.2011. — М. : ОАО “ЦПП”, 2011.
20. Babrauskas V. Wood char depth: interpretation in fire investigations // Proceedings of International Symposium on Fire Investigation. United Kingdom, Moreton-in-Marsh : Fire Science and Technology Inc., 2004. — 12 p.

Материал поступил в редакцию 26 октября 2015 г.

**Для цитирования:** Шутов Ф. А., Круглов Е. Ю., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Влияние теплоизоляции из полимерного пенокомпозиата “Реносом” на огнестойкость ограждающих деревянных каркасных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 28–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37.

English

## INFLUENCE OF POLYMERIC FOAM COMPOSITE “PENOCOM” ON FIRE RESISTANCE OF WOOD FRAME SEPARATING CONSTRUCTIONS

**SHUTOV F. A.**, Doctor of Technical Sciences, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Miusskaya Sq., 9, Moscow, 125047, Russian Federation; e-mail address: fashutov@mail.ru)

**KRUGLOV E. Yu.**, Researcher, Educational-Scientific Centre of Problems of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: 89268196698@mail.ru)

**ASEEVA R. M.**, Doctor of Chemical Sciences, Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: rm-aseeva@yandex.ru)

**SERKOV B. B.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: serkov@antip.ru)

**SIVENKOV A. B.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: sivenkov01@mail.ru)

## ABSTRACT

Using a small-scale fire tests three separating construction assemblies modeling fragments of walls and partitions in timber buildings of light frame type have been studied. As a thermal insulation layer have used a commercial polymer foam composite “Penocom” with different density between 43.7–140 kg/m<sup>3</sup>. It was established that the actual limit of fire resistance of separating constructions for the integrity and insulating capacity (EI) was 95–110.3 min. It was found that there is a tendency: increasing the fire resistance of four-layers structures corresponds decreasing the density foam composites “Penocom” from 83 to 43.7 kg/m<sup>3</sup>. The average values of the heat flow in the small-scale fire oven at the standard mode of fire at different periods of fire actions have been measured as well. These values correspond the relationship found at standard large-scale apparatus. Thermal conductivity of polymer foam composite was calculated.

**Keywords:** wood; fire resistance; separating frame constructions; thermal insulation; polymeric foam composite.

## REFERENCES

1. Buchanan A., Östman B., Frangi A. *Fire resistance of timber structures: a report for the National Institute of Standards and Technology*. Available at: [www.nist.gov/el/fire\\_research/upload/NIST-Timber-Report-v4-Copy.pdf](http://www.nist.gov/el/fire_research/upload/NIST-Timber-Report-v4-Copy.pdf) (Accessed 20 October 2015).
2. Barber D., Gerard R. High-rise timber buildings. *Fire Protection Engineering*, July 2014. Available at: [http://www.sfpe.org/?page=2014\\_Q3\\_1](http://www.sfpe.org/?page=2014_Q3_1) (Accessed 20 October 2015).
3. 10 of the best wooden skyscrapers. Available at: <https://www.worldbuild365.com/news/detail/sawxeob2a/building-architecture/10-of-the-best-wooden-skyscrapers> (Accessed 20 October 2015).
4. Kazeykin V. S., Baronin S. A., Chernykh A. G., Androsova A. N. *Problemy razvitiya malo-etazhnogo zhillishchnogo stroitelstva* [Problem aspects of development of low housing construction in Russia]. Moscow, INFRA M Publ., 2011. 278 p.
5. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Burning wood and its fire behavior]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p.
6. *BS EN 1995-1-2:2004: Eurocode 5: Design of timber structure. Part 1-2: General — Structural fire design*. Belgium, Brussels, CEN, 2004.
7. Fire Safety in Timber Buildings. Technical Guideline for Europe, *SP Report 2010:19*. Available at: [http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire\\_Timber\\_Ch\\_5-7.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf) (Accessed 10 October 2015).
8. White R. H. Analytical methods for determining fire resistance of timber members. In: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York, Springer, 2016, pp. 1979–2011. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_55.
9. White R. H. Fire resistance of wood with members with directly applied protection. *Proceedings of 11<sup>th</sup> International Conference and Exhibition “Fire and Materials 2009”*. UK, London, Interscience Communications, 2009. 971 p. Available at: <http://naldc.nal.usda.gov/download/44930/PDF> (Accessed 10 October 2015).
10. Pokrovskaya E. N., Portnov F. A., Kobelev A. A., Korolchenko D. A. Dymobrazuyushchaya sposobnost i toksichnost produktov sgoraniya drevesnykh materialov pri poverkhnostnom modifitsirovani elementoorganicheskimi soyedineniyami [The smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by organoelemental compounds]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 40–45.
11. Lukianov A. M., Korolchenko D. A., Agapov A. G. O pozharoopasnosti drevesiny pri vozvedenii mostov [Fire hazards of the timber during bridge construction]. *Mir transporta — World of Transport and Transportation*, 2012, vol. 10, no. 4 (42), pp. 158–162.

12. Web-site HotWell. SIP technologies. Available at: [www.hotwell.ru](http://www.hotwell.ru) (Accessed 10 October 2015) (in Russian).
13. Fire resistance of timber frame wall construction. In: *PU EUROPE excellence in insulation, February 2013, Factsheet no. 20*. Available at: <http://ecotermix.ru/wp-content/uploads/2013/12/Test-PU-Europe.pdf> (Accessed 10 October 2015).
14. Just A., Schmid J., König J. Gypsum plasterboards used as fire protection — analysis of a database. *SP Report 2010:29*. Stockholm, 2010.
15. Sultan M. A. Factors affecting fire resistance performance of lightweight frame floor assemblies. *Proceedings of 8th International Fire Science and Engineering Conference. Interflam '99*. Edinburgh, Scotland, 1999, pp. 897–910.
16. Shutov F. A. Ognestoykiye materialy dlya snizheniya pozharnoy opasnosti maloetazhnykh ob'yektov iz drevesiny [Fire-resistant materials to reduce the risk of fire of low-rise objects of wood]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2014, no. 3 (55). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-3/22-03-14.ttb.pdf> (Accessed 15 October 2015).
17. Shutov F. A., Yarbrough D. Teploizolyatsionnyye i ekologicheskiye kharakteristiki ognestoykogo polimernogo penokompozita PENOCOM® [Insulation and environmental specifications flame retardant polymer foam composites PENOCOM®]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2014, no. 4 (56). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/37-04-14.ttb.pdf> (Accessed 15 October 2015).
18. Kruglov E. Yu., Shutov F. A., Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Ognestoykost ograzhdayushchikh legkikh derevyannykh karkasnykh konstruktsiy s teploizolyatsiyey iz penokompozita “PENOCOM” [Fire resistance of cladding light wooden framework structures with thermal insulation made of foam composite PENOCOM]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2015, no. 3, pp. 63–70.
19. Set of rules 64.13330.2011. Timber structures. Moscow, Center of Design Production in Construction Publ., 2011 (in Russian).
20. Babrauskas V. Wood char depth: interpretation in fire investigations. *Proceedings of International Symposium on Fire Investigation*. United Kingdom, Moreton-in-Marsh, Fire Science and Technology Inc., 2004. 12 p.

**For citation:** Shutov F. A., Kruglov E. Yu., Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Vliyaniye teploizolyatsii iz polimernogo penokompozita “Penocom” na ognestoykost ograzhdayushchikh derevyannykh karkasnykh konstruktsiy [Influence of polymeric foam composite “Penocom” on fire resistance of wood frame separating constructions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 28–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37.

**Ю. Х. ПОЛАНДОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры высшей математики, Приокский государственный университет (ПГУ); руководитель Научно-образовательного центра (НОЦ) "Механика жидкости и газа. Физика горения" при ПГУ (Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29; e-mail: polandov@yandex.ru)

**В. А. БАБАНКОВ**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник НОЦ "Механика жидкости и газа. Физика горения" при ПГУ (Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29; e-mail: xenosv@mail.ru)

**С. А. ДОБРИКОВ**, аспирант, исследователь-стажер НОЦ "Механика жидкости и газа. Физика горения" при ПГУ (Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29; e-mail: Te4nik1@gmail.com)

УДК 614.83;004.942

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГАЗОВОГО ВЗРЫВА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ НАЛИЧИИ СМЕЖНОЙ КОМНАТЫ

Обзор публикаций показывает, что приоритет исследования эффекта влияния смежной комнаты на давление газового взрыва в помещении, имеющем окно, остается за российскими учеными. Данный эффект подтвержден экспериментально и авторами статьи. Установлено, что в наибольшей степени этот эффект проявляется при воспламенении газозвушной смеси в области, расположенной между центром помещения и окном, причем непосредственно у окна он проявляется слабее и практически отсутствует при воспламенении в области, близкой к проходу, соединяющему помещение со смежной комнатой.

**Ключевые слова:** физический эксперимент; взрыв газа; помещение; смежная комната; место воспламенения газа; давление взрыва.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.38-46

### Введение

Исследователями из Московского государственного строительного университета (А. В. Мишуевым, В. В. Казенновым, Н. В. Громовым и др.) [1] зафиксирован эффект повышения давления газового взрыва в помещении, имеющем окно и смежную комнату, в которой изначально не было газа, по сравнению со взрывом в отдельном помещении. Ими установлено, что максимальное давление взрыва в этом случае значительно (в 2,5 раза) превышает максимальное давление взрыва в помещении без смежной комнаты. Этот результат находится в полном согласии с исследованиями В. В. Молькова, проведенными им несколько ранее [2]. Обзор зарубежных публикаций показывает, что приоритет исследования этого эффекта остается за российскими учеными.

Так, в известных нормативных документах Евросоюза [3, 4], США [5–7] и России [8–10] практически не рассматривается вопрос влияния на развитие взрыва в помещении смежной комнаты, заполненной воздухом и сообщающейся с комнатой, заполненной газом. Несмотря на различия, имеющиеся в этих стандартах, они обладают одним общим недостатком: они основаны на результатах анализа, полученных исходя из принципа "квазипостоянного" давления в помещении, т. е. без учета распределения параметров газов по объему. Этот подход по-

зволяет судить о форме и площади фронта пламени лишь на основе феноменологических моделей, особенно в случае турбулентности, что делает невозможной даже постановку задачи о влиянии смежной комнаты на развитие давления при взрыве в помещении. В этой ситуации решение задачи возможно только экспериментальным путем. Однако эксперименты со смежными комнатами за рубежом не проводились, даже в таком развитом исследовательском центре, как *FM Global* (Торонто, США) [11].

Среди публикаций, так или иначе касающихся этого вопроса, можно отметить работу [12], авторы которой являются разработчиками программного продукта *FLACS*, предназначенного для численного моделирования газовых взрывов. В качестве примера они моделировали газовые взрывы с распространением пламени по двум смежным помещениям, заполненным газом. Однако авторов, скорее, интересовал вопрос адекватности численной модели, а также демонстрация возможностей программы, а не механика взрыва.

Водяник В. И. [13] также рассматривал распространение пламени в двух сообщающихся сосудах, но и он, как и предыдущие исследователи, имел дело с заполненными газом сосудами (помещениями), поэтому полученные им результаты также не имеют отношения к рассматриваемому вопросу.

Ближе всех к рассматриваемой проблеме подошел В. В. Мольков в работе [2]. В ней он экспериментально исследовал взрыв в емкости объемом  $2 \text{ м}^3$  и сброс газов через трубопроводы разных диаметров и длин в другую (приемную) емкость объемом  $3,5 \text{ м}^3$ , которая была предварительно заполнена воздухом. Он обнаружил, что в некоторых опытах давление в приемной емкости в ходе взрыва возрастало и становилось больше, чем в первой. Кроме того, он установил зависимость развития взрыва от места расположения устройства зажигания в первой емкости, что и позволило ему объяснить причину такого эффекта. К сожалению, исследования не были характерными для взрыва в помещении (скажем, на кухне), имеющем, кроме прохода в смежное помещение, окно, через которое газы выбрасываются в атмосферу.

В этом плане результаты исследования ученых из МГСУ [1] являются новыми.

### Рабочая гипотеза

О влиянии места воспламенения газозвдушной смеси в помещении на развитие процесса взрыва в нем известно достаточно давно [11], о чем свидетельствуют (правда, в самом общем плане) и нормативные документы [3, 5]. Согласно им оказывается, что чем дальше от отверстия сброса происходит зажигание, тем выше максимальное давление взрыва. Проведенные нами ранее экспериментальные исследования подтвердили этот эффект [14]. При этом было уточнено, что проявление данного эффекта намного сложнее, чем это простое по форме утверждение, и зависит от размеров сбросного проема и формы помещения. В связи с этим и на основе опытов В. В. Молькова можно ожидать, что различное положение источника воспламенения при взрывах в двух сообщающихся помещениях, одно из которых заполнено газом и имеет окно, также будет влиять на развитие взрыва.

Надо полагать, что при этом возможны три варианта развития взрыва:

- *первый*: источник расположен вблизи прохода в смежное помещение. Тогда в смежное помещение попадут в основном продукты сгорания, а не газозвдушная смесь. В этом случае это помещение будет играть роль своеобразного демпфера;
- *второй*: источник находится вдали от прохода, ближе к центру. В этом случае можно ожидать попадания части несгоревшей смеси в смежную комнату, где она будет догорать. Однако в проходе смесь турбулизируется, что должно привести к резкому увеличению площади фронта пламени и, как следствие, к повышению давления взрыва;

- *третий*: источник расположен у окна. В этом случае в смежную комнату попадает наибольшее количество смеси, но вступает в силу известный эффект снижения давления взрыва при воспламенении рядом с окном, что должно снизить влияние смежной комнаты.

### Средства исследования

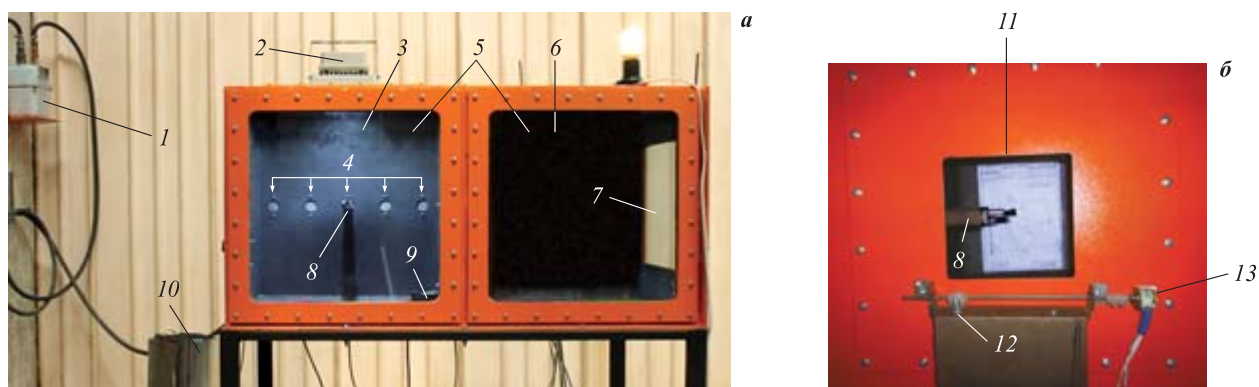
При выборе размеров модельной установки мы исходили из известного [11, 14, 16] факта, что чем больше отношение  $l/d$  в цилиндрической камере (где  $l$  — длина цилиндра,  $d$  — его диаметр), тем больше влияет место воспламенения газа на давление взрыва в камере со сбросным проемом достаточного размера. Учитывая, что ставится задача о влиянии этого же параметра на развитие взрыва, но при наличии смежного объема, необходимо было свести к минимуму влияние первого фактора, поэтому была выбрана камера с  $l/d$ , близким к 1.

Исследование проводилось экспериментально с помощью модельной установки (рис. 1), которая состояла из двух камер размером  $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ м}$  каждая. Камеры были разделены сменной перегородкой, в которой был сделан соединяющий их проход. Камера № 1 имела сбросной проем размером  $0,15 \times 0,15 \text{ м}$  (на рис. 1 он обращен влево), который снабжен заслонкой из листовой стали толщиной 1 мм и датчиком положения заслонки. В состав установки входит также источник воспламенения (ИВ) и счетчик газа. Положение ИВ в каждой камере может варьироваться (см. рис. 1, поз. 1–5 слева направо). Внутри камеры расположен вентилятор, обеспечивающий перемешивание газа и воздуха и подготовку смеси к воспламенению. Проход между камерами размером  $0,15 \times 0,15 \text{ м}$  при подготовке смеси загорали со стороны первой камеры листом бумаги, который при взрыве разрушался.

Удаление продуктов сгорания из камер после взрыва осуществлялось путем их продувки с помощью цилиндрического вентиляционного короба диаметром  $0,09 \text{ м}$  и длиной  $1 \text{ м}$ , который вставлялся после взрыва в сбросной проем и через который подавался свежий воздух в камеру № 2. По окончании продувки короб извлекался из камер.

После экспериментального определения минимально необходимого времени продувки, перемешивания и работы устройства зажигания, которое обеспечивало бы воспроизводимость результатов при взрыве, уточнялась циклограмма команд, которая реализовывалась при взрыве в автоматическом режиме при управлении с компьютера и разработанного пульта управления “Пчела”. Продувка и заправка газом камер проводились в ручном режиме.

Система измерений состояла из двух датчиков давления CS-PT-1000 (Китай), установленных в каждой камере; датчика перемещения В10К (СССР),



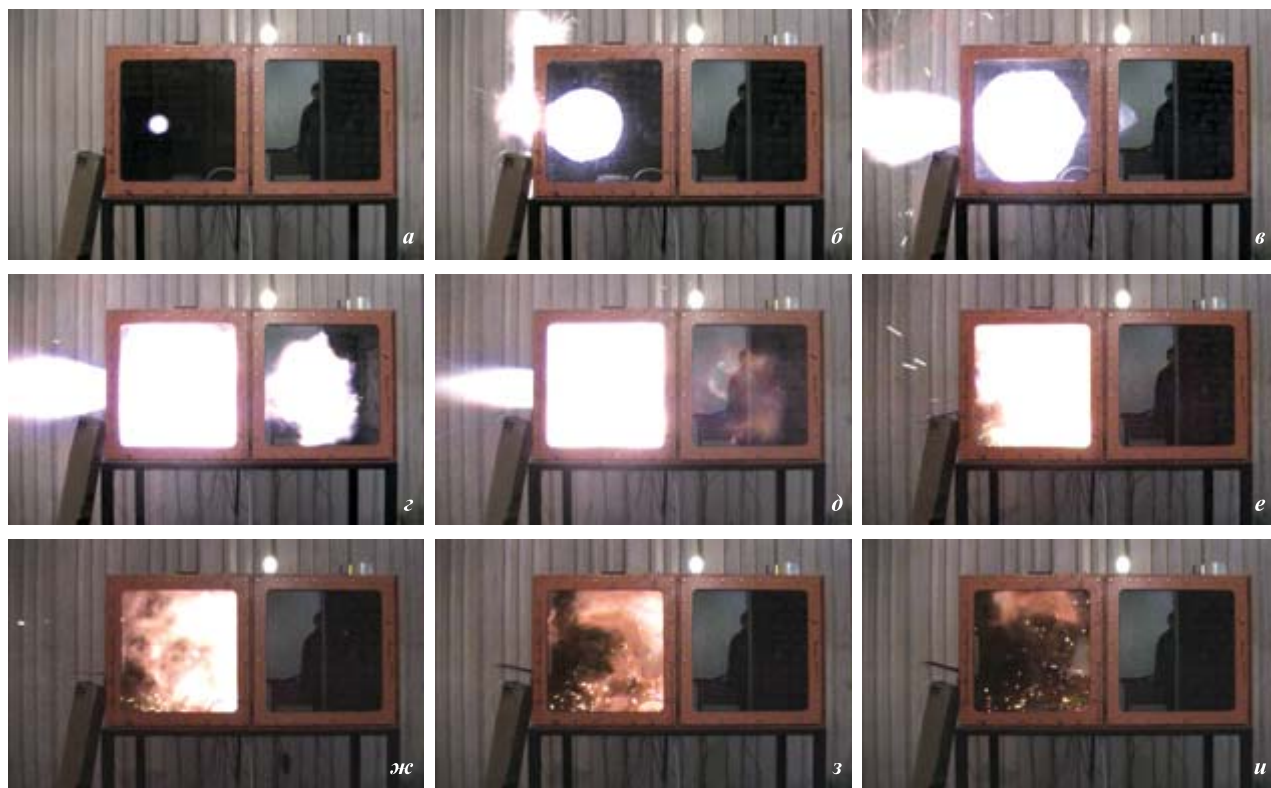
**Рис. 1.** Общий вид камеры сбоку (а) и со стороны сбросного проема (б): 1 — счетчик газа; 2 — лампа подсветки; 3 — камера № 1; 4 — места установки источника воспламенения (5 позиций); 5 — места установки датчиков давления; 6 — камера № 2; 7 — заднее стекло; 8 — ИВ на поз. 3; 9 — вентилятор циркуляционный; 10 — короб вентиляционный; 11 — сбросной проем; 12 — заслонка; 13 — датчик положения заслонки

определяющего положение заслонки; аналогово-цифрового преобразователя (ОАО Руднев – Шияев, Россия) и персонального компьютера. Опрос датчиков и запись полученных данных проводились с частотой дискретизации 30 кГц. Обработка данных велась в среде Microsoft Excel 2010.

В первую камеру подавался “зимний вариант” сжиженного газа из баллона, который состоит из пропана (52 %), бутана (42 %) и этилена (остальное). В опытах использовали газ в концентрации, близкой к стехиометрической, в количестве 5 л — в опытах с одной камерой и 10 л — при заполнении обеих

камер. Отсчет объема газа производился по счетчику. Целое число литров заливаемого газа принято для простоты. Каждый раз перед началом серии опытов осуществлялся контроль воспроизводимости результатов путем проведения трех контрольных взрывов.

На рис. 2 приведены кадры видеосъемки взрыва при наличии перегородки с проходом. При подготовке смеси окно сброса было закрыто заслонкой, а проход — листом бумаги, приклеенным с помощью скотча со стороны первой камеры. Положение источника воспламенения в данном опыте — в поз. 2 в первой комнате (см. рис. 1).



**Рис. 2.** Развитие взрыва в моменты времени (кадры видеосъемки): а — 10 мс; б — 50 мс; в — 90 мс; г — 130 мс; д — 170 мс; е — 210 мс; ж — 250 мс; з — 290 мс; и — 340 мс

При включении циклограммы проведения опыта в автоматическом режиме начинается перемешивание смеси, через определенное время (обычно 40 с) включается команда “Запись” и предупредительная сигнализация (световая и звуковая), а еще через 5 с — команда “Взрыв”, согласно которой на ИВ появляется искра длительностью по времени 0,02 с. Через 1 с система отключается, и, если после осмотра установка признается готовой к следующему опыту, то продуваются обе камеры, восстанавливается бумага на проходе между камерами, закрывается заслонка и заполняется газом первая камера.

### Типичный опыт

На рис. 3 показаны ход давления при взрыве (см. рис. 2), записанный двумя датчиками давления (установленными по одному в каждой камере) при расположении источника воспламенения в поз. 2 (см. рис. 1). Нуль на графике совмещен с подачей сигнала “Взрыв”. Чтобы избежать влияния возникающих при работе устройства зажигания сильных электромагнитных колебаний на работу системы измерения, сигнал длится не более 0,02 с. Если судить по перепаду давления на рис. 3,б, то практически сразу (по графику менее чем через 0,01 с) давление в первой камере начинает расти. Комментируя этот

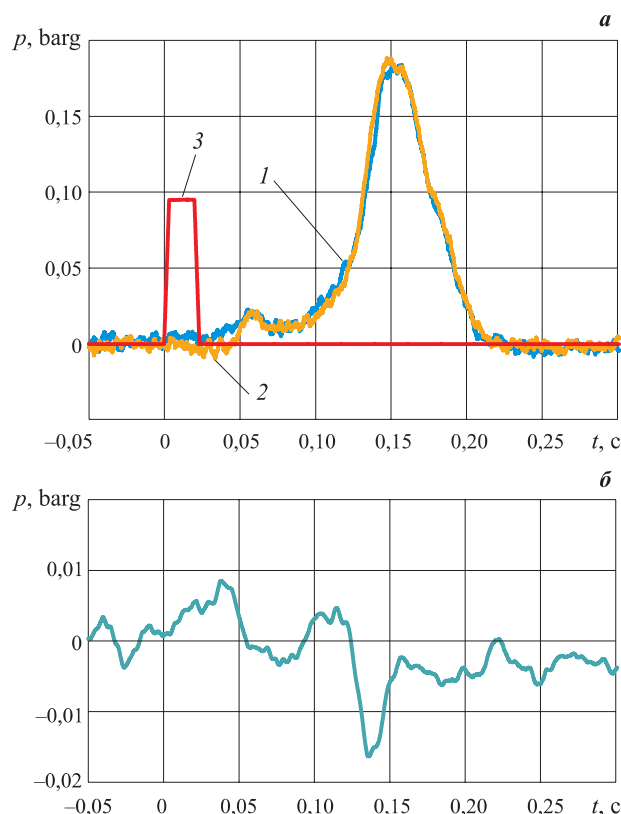


Рис. 3. Результаты обработки данных опыта по рис. 2 (а) и разница давлений между первой и второй камерами (б): 1, 2 — записи показаний датчиков давления соответственно в первой и второй камерах; 3 — сигнал на ИВ “Взрыв”

момент, можно сказать, что время индукции воспламенения практически равно нулю (во всяком случае, в рамках проведенного эксперимента и характеристик измерительной системы).

Примерно через 0,04 с после взрыва практически одновременно начинают открываться заслонка и лист в проходе во вторую камеру. Первое следует из графика на рис. 4 и 2,б (заслонка частично открыта, поэтому струя продуктов сгорания направлена вверх). Об открытии листа бумаги на проходе во вторую комнату можно судить по рис. 3,б, где видно, что давление после роста с этого момента начинает резко снижаться. Это может быть только результатом перетока газов из первой камеры во вторую.

*Движение заслонки.* Динамика ее движения зафиксирована на рис. 4 (кривая 2). Для удобства анализа положения заслонки можно воспользоваться рис. 5. Ориентируясь на рис. 2, отметим, что вращение заслонки осуществлялось против часовой стрелки. При угле поворота  $\alpha = 90^\circ$  (исходное положение) она закрывает окно камеры, при  $\alpha = 0^\circ$  — принимает горизонтальное положение, при котором полностью открывается сбросной проем, при  $\alpha = -90^\circ$  — опускается до демпфера, расположенного в нижней части передней крышки камеры.

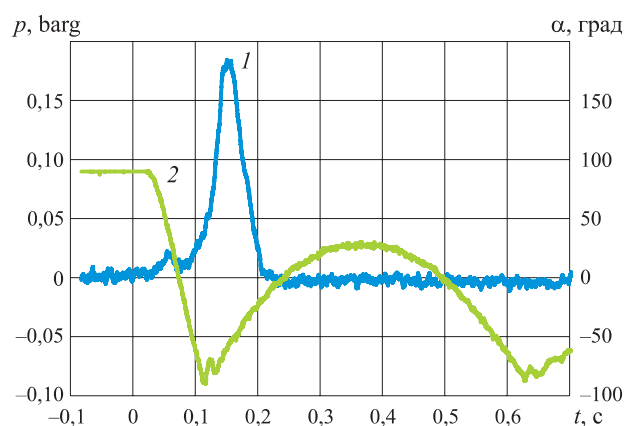


Рис. 4. Изменение давления в первой камере (1) и угла открытия заслонки (2) в процессе взрыва

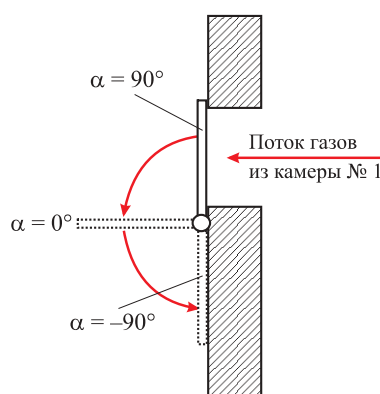


Рис. 5. К анализу положения заслонки (к рис. 3,а)

Спад первого пика давления на кривых 1 и 2 (см. рис. 3) несколько запаздывает с началом открытия заслонки. Это дает основание считать, что этот пик есть результат открытия заслонки. К 100-й мс заслонка принимает горизонтальное положение, а к 150-й мс — ударяется об упругий демпфер, а к моменту 0,3 с поднимается обратно вверх, частично перекрывая область струи (см. рис. 2,ж–2,и). После нескольких колебательных движений заслонка зависает в нижнем положении.

*Бумажный лист на перегородке.* Судя по разнице давлений между первой и второй камерами (см. рис. 3,б), лист открывается в сторону второй камеры при перепаде давления 800 Па, после чего давление в камерах начинает выравниваться. В ходе взрыва разница давлений в обеих камерах настолько мала (до 19 кПа), что кривые 1 и 2 на рис. 3,а практически сливаются. Во время основного пика к 150-й мс и далее по времени давление во второй камере становится больше, чем в первой: на рис. 2,и видно, что лист бумаги открыт в сторону первой камеры. Это же наблюдается и на рис. 3,б: давление во второй камере выше, чем в первой.

*Ход давления.* Вернемся к кривым 1 и 2 на рис. 3,а. После зажигания смеси давление в первой камере начинает расти как в закрытом сосуде, достигая к 40-й мс 0,02 barg, затем несколько снижается, образуя первый пик. Далее оно снова начинает расти и на 150-й мс образует второй основной пик давления — 0,19 barg. Площадь фронта пламени в это время достигает своего максимального значения, что видно на рис. 2,г. Давление в обеих камерах в результате истечения газа резко падает до нуля. Время активной фазы взрыва составляет 0,22 с. Можно обратить внимание на то, что записи давления обоими датчиками почти совпадают, что говорит о достаточной точности измерений. На рис. 2,з по оси первой камеры видна темная (холодная) область. Это, скорее всего, результат имплозии, когда в камеру поступает холодный воздух из атмосферы.

И наконец, можно отметить, что заслонка и бумажный лист, имеющие в опытах второстепенное значение, практически не влияют на ход давления при взрыве.

### Анализ данных по теме исследований

Программой эксперимента было предусмотрено проведение двух серий опытов и последующее сравнение их результатов: в первой — исследовалась зависимость развития взрыва от места воспламенения в первой камере при закрытом проходе во вторую, а в другой — при открытом проходе во вторую камеру, загороженном бумажным листом.

*Опыты со взрывами в отдельной первой камере.* Результаты опытов первой серии по пяти позициям

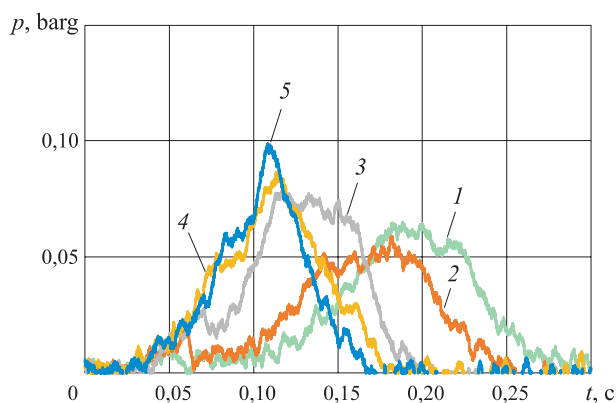


Рис. 6. Ход давления взрыва в отдельной камере: 1–5 — номера позиций ИВ, при которых производился взрыв

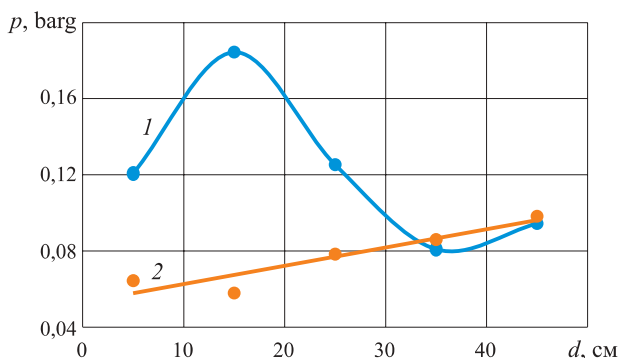


Рис. 7. Зависимость максимального давления от расположения источника зажигания: 1 — при наличии смежной камеры; 2 — в случае с отдельной камерой

ИВ приведены на рис. 6. Номера кривых соответствуют номерам позиций, при которых производился взрыв. Из рис. 6 видно, что чем ближе ИВ к окну, тем дольше длится взрыв. В нашем случае с увеличением номера позиции время взрыва уменьшается с 0,28 до 0,17 с.

На рис. 7 приведена зависимость максимального давления в этой серии опытов при взрыве от места установки ИВ (кривая 2), из которой следует, что с приближением источника воспламенения к окну максимальное давление имеет тенденцию к снижению: в нашем случае с 0,1 до 0,06 barg.

*Опыты со взрывом в первой камере при открытом проходе во вторую.* Вид графиков хода давления взрыва в камере, сообщающейся со смежной, при разных положениях источника воспламенения показан на рис. 8. В данном случае полученная зависимость давления взрыва от места положения ИВ выглядит несколько сложнее. При установке ИВ вблизи прохода во вторую камеру (поз. 4 и 5) давление взрыва равно давлению взрыва в отдельной камере. Однако при установке ИВ в центре камеры и вблизи сбросного проема давление значительно выше, чем при взрыве в отдельной камере, особенно при положении ИВ в поз. 2.

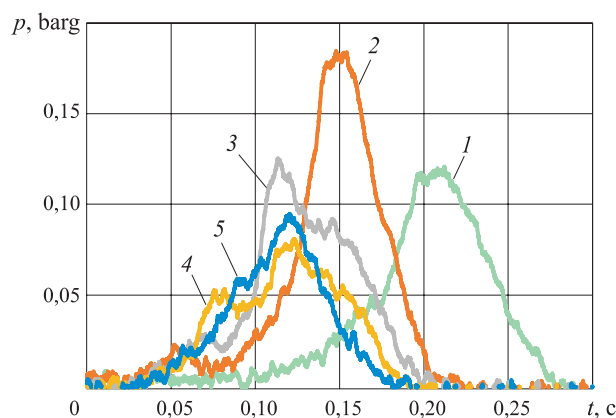


Рис. 8. Ход давления при взрыве в камере при наличии прохода в смежную

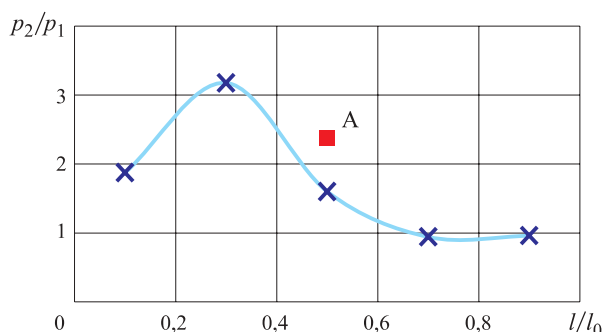


Рис. 9. Отношение максимальных давлений взрыва в опытах со смежной камерой  $p_2$  и без нее  $p_1$  при  $l/l_0$ :  $l$  — расстояние от сбросного проема до места воспламенения;  $l_0$  — длина камеры; А — данные, полученные МГСУ

Возможное объяснение этого феномена следующее. При установке ИВ вблизи прохода при открытии листа во вторую комнату попадают уже сгоревшие газы, т. е. продукты сгорания, в данном случае инертный газ, заполняющий объем второй камеры. С успехом это могла бы быть и часть объема первой камеры.

При сдвиге ИВ к центру первой камеры с началом взрыва во вторую камеру первой поступает исходная (еще не горевшая) смесь, по пути турбулизируясь в проходе. Когда она воспламеняется, горение происходит по развитой площади фронта пламени. Чем дальше отодвигается ИВ от прохода, тем больше часть негорящей смеси поступает во вторую камеру.

И наконец, при установке ИВ у сбросного проема срабатывает эффект выброса в него продуктов сго-

рания, которые движутся с большой скоростью, как газы, имеющие высокую температуру, и части пламени, в результате чего влияние смежной комнаты на процесс снижается.

Обобщая результаты исследований, можно рассмотреть зависимость отношения давлений при взрыве в отдельной камере и в камере, сообщающейся с другой камерой, от расстояния от места воспламенения до сбросного проема. В нашем случае по абсциссе отложено относительное расстояние  $l/l_0$ . Зависимость  $p_2/p_1 = f(l/l_0)$  приведена на рис. 9. Понятно, что предложенные безразмерные величины не полностью соответствуют понятию критериев, тем не менее они позволяют сравнить между собой результаты, полученные при различных условиях. На рис. 9 представлены результаты в безразмерных координатах, полученные исследователями из МГСУ (точка А). Из рис. 9 видно достаточно приемлемое совпадение результатов.

Интересно обратиться к ранее полученным нами результатам [16], согласно которым газовый взрыв в отдельной комнате с воспламенением у дальней стены гораздо опаснее взрыва вблизи сбросного проема. Понятно, что приведенные в настоящей статье данные расходятся с этим утверждением и делают неоднозначными условия выбора места установки газовой плиты в кухонном помещении.

## Выводы

1. Подтвержден обнаруженный в МГСУ эффект повышения давления взрыва газа в камере со сбросным проемом, если она сообщается во время взрыва с другой (смежной) камерой.

2. Гипотеза о влиянии на развитие взрыва места воспламенения газа в камере подтвердилась. Установлено, что при воспламенении газа вблизи прохода в смежную камеру давление взрыва практически равно давлению при взрыве в отдельной комнате. Влияние проявляется при воспламенении в центре камеры и особенно в пространстве между центром и сбросным проемом. Однако при воспламенении в непосредственной близости от сбросного проема на развитие взрыва начинает влиять другой эффект: выброс продуктов сгорания с высокой температурой и части пламени, в которой идет процесс горения, в результате чего влияние смежной комнаты на развитие процесса снижается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Комаров А. А., Громов Н. В., Лукьянов А. В., Прозоровский Д. В. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 3. — С. 49–56.
2. Мольков В. В. Динамика сгорания газа в негерметичном сосуде : дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М. : МФТИ, 2006. — 211 с.

3. EN 14994:2007. Gas explosion venting protective systems. — UK, BSI, 2007. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030117073> (дата обращения: 25.10.2015).
4. EN 14797:2006. Explosion venting devices. — UK, BSI, 2006. URL: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030104794> (дата обращения: 25.10.2015).
5. NFPA 68:2013. Standard on explosion protection by deflagration venting. — USA, Quincy : National Fire Protection Association, 2013. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=68> (дата обращения: 25.10.2015).
6. *Ismaila A., Andrews G. E., Abdullahi I., Nasiru R., Abdullahi Y. A.* Venting as a means of mitigating explosions: The need to revised European and USA (NFPA68) guidance for explosion venting // Archives of Applied Science Research. — 2012. — Vol. 4, No. 1. — P. 155–168.
7. *Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S.* Experimental and numerical study of methane-air deflagrations in a vented enclosure // Proceedings of the Ninth International Symposium “Fire Safety Science”. — Vol. 9. — P. 1043–1054. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-1043.
8. ГОСТ Р 12.3.047–2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2014. — М. : Стандартинформ, 2014. — 65 с.
9. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 27 с.
10. СП 89.13330.2012. Котельные установки (актуализированная редакция СНиП II-35–76). — М. : ФАУ “ФЦС”, 2013.
11. *Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S.* Effect of ignition location, vent size, and obstacles on vented explosion overpressures in propane-air mixtures // Combustion Science and Technology. — 2010. — Vol. 182, Issue 11-12. — P. 1915–1932. DOI: 10.1080/00102202.2010.497415.
12. *Pedersen H. H., Tomlin G., Middha P., Phylaktou H. N., Andrews G. E.* Comparison of FLACS Simulations against large-scale vented gas explosion experiments in a twin compartment enclosure // Ninth International Symposium on Hazard, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions (ISHPMIE), 22–27 July 2012. — Poland, Cracow, 2012. — 26 p.
13. *Водяник В. И.* Взрывобезопасность технологического оборудования. — М. : Химия, 1991. — 254 с.
14. *Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А.* Моделирование процесса горения газозвушной смеси методом крупных частиц // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 6–9.
15. *Bartknecht W.* Explosionsschutz: Grundlagen und Anwendung. — Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1993. — S. 891. DOI: 10.1007/978-3-642-77515-4.
16. *Поландов Ю. Х., Бабанков В. А.* Влияние места расположения источника воспламенения в помещении на развитие взрыва газа // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 23, № 3. — С. 68–74.

Материал поступил в редакцию 8 ноября 2015 г.

**Для цитирования:** Поландов Ю. Х., Бабанков В. А., Добриков С. А. Особенности развития газового взрыва в помещении при наличии смежной комнаты // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 38–46. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.38-46.

English

## FEATURES OF INFLUENCE OF ADJACENT ROOMS ON THE DEVELOPMENT OF GAS EXPLOSION

**POLANDOV Yu. Kh.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Higher Mathematics Department, State University — Educational-Scientific-Production Complex; Head of Scientific-Educational Center “Fluid Mechanics. Combustion” (Naugorskoye Highway, 29, Orel, 302020, Russian Federation; e-mail address: polandov@yandex.ru)

**BABANKOV V. A.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Scientific-Educational Center “Fluid Mechanics. Combustion”, State University — Educational-Scientific-Production Complex (Naugorskoye Highway, 29, Orel, 302020, Russian Federation; e-mail address: xenosv@mail.ru)

**DOBRIKOV S. A.**, Postgraduate Student, Researcher-Trainee of Scientific-Educational Center “Fluid Mechanics. Combustion”, State University — Educational-Scientific-Production Complex (Naugorskoye Highway, 29, Orel, 302020, Russian Federation; e-mail address: Te4nik1@gmail.com)

## ABSTRACT

Researchers from MGSU (Moscow) revealed the effect of an adjacent room to the pressure of the gas explosion in a room that has a window. They found that the explosion pressure in this case is significantly (2.5-fold) higher than the pressure of the explosion in a room without an adjacent room. This result confirms the studies Molkov V. V., they spent a little earlier. Review of foreign publications shows that the priority of the study of this effect remains for Russian scientists. We confirmed this effect also experimentally, but studies have been conducted in more detail.

In the experiment we used a model installation dimensions  $0.5 \times 0.5 \times 1.0$  m on the long side is divided into two chambers, one of the chambers had the stroke window of  $0.15 \times 0.15$  m, and the partition between the chambers was a passage of the same size. The first chamber is filled with propane. Control and measurement has been computerized, he worked on the original program. Data processing was carried out in an environment Microsoft Excel.

Experimentally it was found that the greatest effect is seen when ignited gas-air mixture in the area located between the center of the room and closer to the window (maximum excess — more than three times). Directly by the window effect is weaker (1.8 times) and virtually non-existent when ignited in a region close to the passage connecting room and the adjoining room.

**Keywords:** physical experiment; gas explosion; room; adjoining room; place of ignition of gas; explosion pressure.

## REFERENCES

1. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Komarov A. A., Gromov N. V., Lukyanov A. V., Prozorovskiy D. V. Osobennosti avariynykh vzryvov vnutri zhilykh gazifitsirovannykh zdaniy i promyshlennykh obyektoy [Peculiar properties of emergency blasts inside gasified buildings and industrial objects]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 49–56.
2. Molkov V. V. *Dinamika sgoraniya gaza v negermetichnom sosude. Dis. kand fiz.-mat. nauk* [The dynamics of the combustion gas in the sealed container. Cand. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, Moscow Engineering Physics Institute Publ., 2006. 211 p.
3. EN 14994:2007. *Gas explosion venting protective systems*. UK, BSI, 2007. Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030117073> (Accessed 25 October 2015).
4. EN 14797:2006. *Explosion venting devices*. UK, BSI, 2007. Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030104794> (Accessed 25 October 2015).
5. NFPA 68:2013. *Standard on explosion protection by deflagration venting*. USA, Quincy, National Fire Protection Association, 2013. Available at: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=68> (Accessed 25 October 2015).
6. Ismaila A., Andrews G. E., Abdullahi I., Nasiru R., Abdullahi Y. A. Venting as a means of mitigating explosions: The need to revised European and USA (NFPA68) guidance for explosion venting. *Archives of Applied Science Research*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 155–168.
7. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. Experimental and numerical study of methane-air deflagrations in a vented enclosure. *Proceedings of the Ninth International Symposium "Fire Safety Science"*, vol. 9, pp. 1043–1054. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-1043.
8. State standard 12.3.047–2012. *Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control*. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 65 p. (in Russian).
9. Set of rules 12.13130.2009. *Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 27 p. (in Russian).
10. Set of rules 89.13330.2012. *Combustion boiler systems of heating generation*. Moscow, FAU "FCC" Publ., 2013 (in Russian).
11. Bauwens C. R., Chaffee J., Dorofeev S. Effect of ignition location, vent size, and obstacles on vented explosion overpressures in propane-air mixtures. *Combustion Science and Technology*, 2010, vol. 182, issue 11-12, pp. 1915–1932. DOI: 10.1080/00102202.2010.497415.
12. Pedersen H. H., Tomlin G., Middha P., Phylaktou H. N., Andrews G. E. Comparison of FLACS Simulations against large-scale vented gas explosion experiments in a twin compartment enclosure. *Ninth International Symposium on Hazard, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions (ISHPMIE)*, 22–27 July 2012. Poland, Cracow, 2012. 26 p.
13. Vodyanik V. I. *Vzryvobezopasnost tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Explosion technological equipment]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 254 p.

14. Polandov Yu. H., Barg M. A., Vlasenko S. A. Modelirovaniye protsessa goreniya gazovozdushnoy smesi metodom krupnykh chastits [Simulation of combustion gas mixture by large particles]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 6–9.
15. Bartknecht W. *Explosionsschutz: Grundlagen und Anwendung*. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 1993. 891 s. DOI: 10.1007/978-3-642-77515-4.
16. Polandov Yu. Kh., Babankov V. A. Vliyaniye mesta raspolozheniya istochnika vosplamneniya v pomeshchenii na razvitiye vzryva gaza [Effect of location source of fire in the room on the development of gas explosion]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 68–74.

**For citation:** Polandov Yu. Kh., Babankov V. A., Dobrikov S. A. Osobennosti razvitiya gazovogo vzryva v pomeshchenii pri nalichii smezhnoy komnaty [Features of influence of adjacent rooms on the development of gas explosion]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 38–46. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.38-46.



# ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



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

## ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

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

Для заказа книги пишите нам по адресу:

121352, г. Москва, а/я 43,  
или звоните по телефону  
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:  
[mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru).

**В. М. ЕСИН**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: vm-yesin@mail.ru)

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

УДК 614.841

## К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ, УДАЛЯЕМЫХ ИЗ КОРИДОРОВ ЗДАНИЙ

Проведена проверка предположения о неполном участии в теплообмене ограждающих конструкций коридора при пожаре в целях исследования влияния расположения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора, и определения наихудшего с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценария пожара. Показано, что значения температуры, получаемые по существующим расчетным методикам для полной длины коридора, являются существенно заниженными по сравнению с результатами численных экспериментов, полученными в статье, что может привести к выбору вентилятора системы противодымной защиты с недостаточной производительностью. В результате расчетов выявлен наихудший с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценарий пожара — вариант, при котором температура продуктов горения, удаляемых из коридора и подходящих к дымовому (противопожарному) клапану, максимальная (т. е. когда дымовой клапан находится на минимальном расстоянии от двери помещения с очагом пожара). Отмечено, что при проведении практических расчетов следует учитывать минимальное расстояние от дверного проема помещения очага пожара (помещения, где возможно возникновение пожара) до дымового (противопожарного) клапана системы вытяжной противодымной вентиляции.

**Ключевые слова:** противодымная вентиляция; противодымная защита; противопожарная защита; температура продуктов горения; дымовой клапан; теплообмен.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.47-53

Одной из систем активной противопожарной защиты зданий является система вытяжной противодымной вентиляции, обеспечивающая безопасную эвакуацию людей из здания при пожаре [1, 2].

Основными параметрами вентиляционного оборудования, используемого для систем вытяжной противодымной вентиляции, являются производительность и давление, которые должен развивать вентилятор. Производительность вентилятора определяется исходя из расхода продуктов горения, удаляемых из коридора на этаже пожара [3–5]. На расход продуктов горения в значительной степени влияет их плотность или температура.

С вступлением в силу СП 7.13130.2013 [6] появилось требование, согласно которому при определении расхода продуктов горения, удаляемых вытяжной противодымной вентиляцией из коридоров, принимать без расчета фиксированные значения температуры продуктов горения не допускается.

Расчет требуемых параметров систем противодымной вентиляции или совмещенных с ними систем общеобменной вентиляции следует производить в соответствии с положениями [6]. Расчеты могут

быть выполнены в соответствии с [7] или на основе других методических пособий, не противоречащих указанным требованиям, например [8].

Согласно [7] для определения усредненной температуры дымового слоя в коридоре  $T_{sm}$  (К) используется зависимость, полученная интегрированием уравнения, характеризующего изменение температуры в дымовом слое по длине коридора:

$$T_{sm} = T_r + 1,22 \frac{(T_0 - T_r) (2h_{sm} + A_c/l_c)}{l_c} \times \left[ 1 - \exp\left(\frac{-0,58l_c}{2h_{sm} + A_c/l_c}\right) \right], \quad (1)$$

где  $T_r$  — температура воздуха в коридоре, К;

$T_0$  — искомое значение температуры газов, поступающих из горящего помещения в коридор, К;

$h_{sm}$  — предельная толщина дымового слоя, м;

$A_c$  — площадь коридора, м<sup>2</sup>;

$l_c$  — длина коридора, м.

Из формулы (1) следует, что средняя температура дымового слоя в коридоре определяется температурой воздуха в коридоре до начала пожара и тем-

пературой газов, поступающих из горящего помещения и отдающих часть тепловой энергии в ограждающие конструкции коридора.

Теплопотери дымовых газов определяются площадью ограждающих конструкций, участвующих в теплообмене, которая выражается через площадь и длину коридора.

Целесообразно выдвинуть предположение о том, что дым при выходе через дверной проем из помещения очага пожара может не распространяться на всю площадь коридора, а удерживаться вблизи дымоприемного устройства системы вытяжной противодымной вентиляции, т. е. в теплообмене может участвовать часть ограждающих конструкций. При этом температура дымовых газов в коридоре из-за неполного участия в теплообмене ограждающих конструкций будет наибольшей, а значит, и расход газодымовоздушной смеси, удаляемой из коридора, на этапе пожара будет максимальным.

В рамках настоящей статьи была проведена проверка данного предположения в целях исследования влияния положения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора, и выявления наихудшего с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценария пожара.

Для возможного решения данного вопроса исследования были проведены серии численных экспериментов с помощью программного комплекса FDS [9] в целях определения температуры продуктов горения в коридоре при пожаре в здании для вариантов, получаемых сочетанием следующих характеристик:

а) *назначение объекта:*

- жилое;
- торговое;
- офисное;

б) *конфигурация коридора:*

- кольцевая;
- угловая;
- прямолинейная;

в) *положение дымового клапана:*

- вблизи дверного проема из горящего помещения в коридор;
- на максимальном расстоянии от дверного проема из горящего помещения в коридор;
- среднее между двумя указанными положениями.

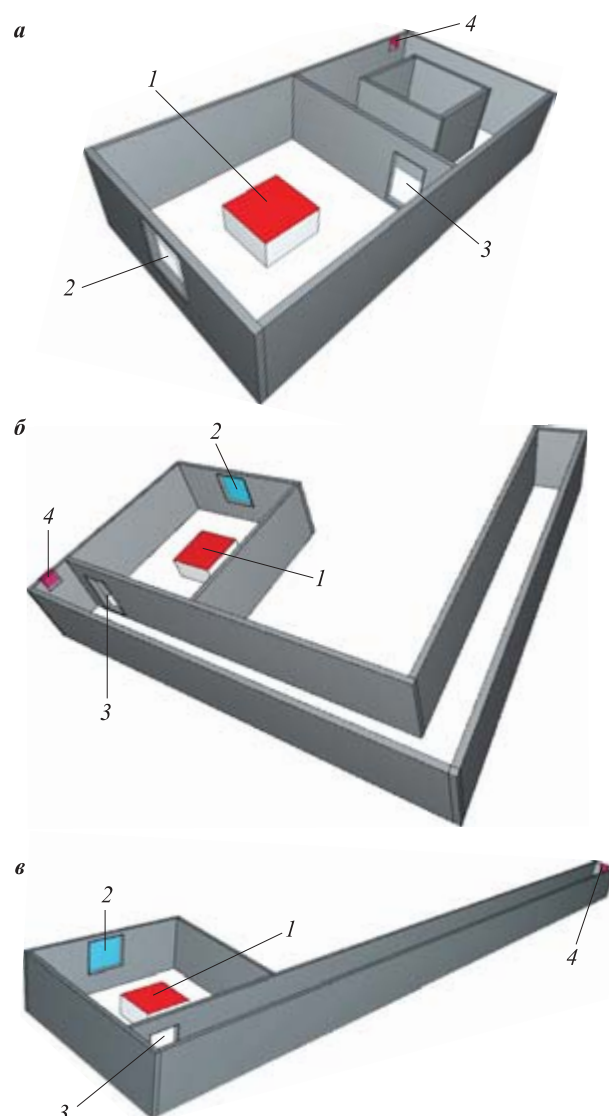
Помещение очага пожара моделировалось площадью  $50 \text{ м}^2$  и высотой 2,8 м. Очаг пожара принимался в зависимости от функционального назначения объекта по [10–12]. Помещение оснащалось оконным проемом размером  $1,6 \times 1,6 \text{ м}$ . Вскрытие

остекления происходило в соответствии с закономерностями, описанными в [8, 13].

С помещением сообщался коридор через дверной проем размером  $1,2 \times 2,0 \text{ м}$ . Ширина коридора принималась равной 1,6 м, высота — 2,8 м, а длина — в зависимости от конфигурации: для кольцевой — 20 м; угловой — 30 м; прямолинейной — 45 м.

В коридоре предполагалось наличие вытяжной противодымной вентиляции. Размеры дымового клапана принимались  $0,6 \times 0,6 \text{ м}$ . Массовый расход удаляемого из коридора дыма, определенный по [14], задавался в зависимости от назначения здания.

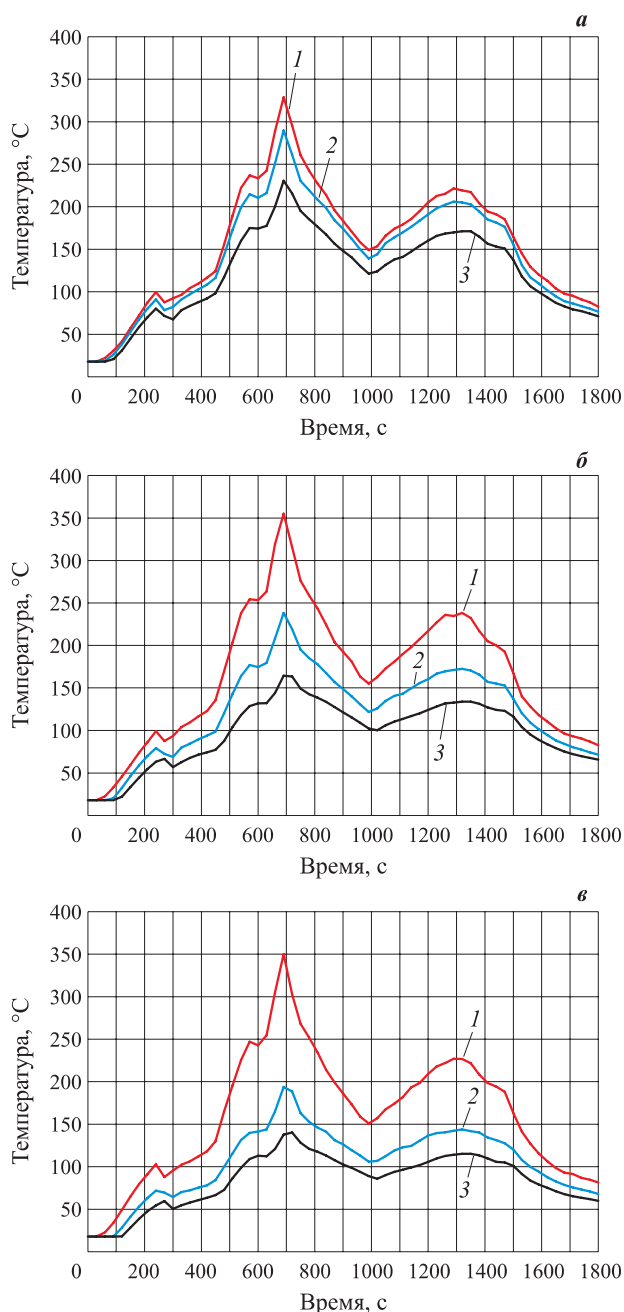
На рис. 1 представлены схемы моделируемых сценариев пожара: на рис. 1,а — в помещении, сообщаемом с коридором кольцевой конфигурации, рис. 1,б — угловой конфигурации, рис. 1,в — прямолинейной конфигурации.



**Рис. 1.** Схема моделируемого сценария пожара в помещении, сообщаемом с коридором кольцевой (а), угловой (б) и прямолинейной (в) конфигураций: 1 — очаг пожара; 2 — оконный проем; 3 — дверной проем; 4 — дымовые клапаны

Температура продуктов горения определялась в вертикальной плоскости сечения дымового клапана. При этом записывались как максимальные, так и средние значения по сечению клапана.

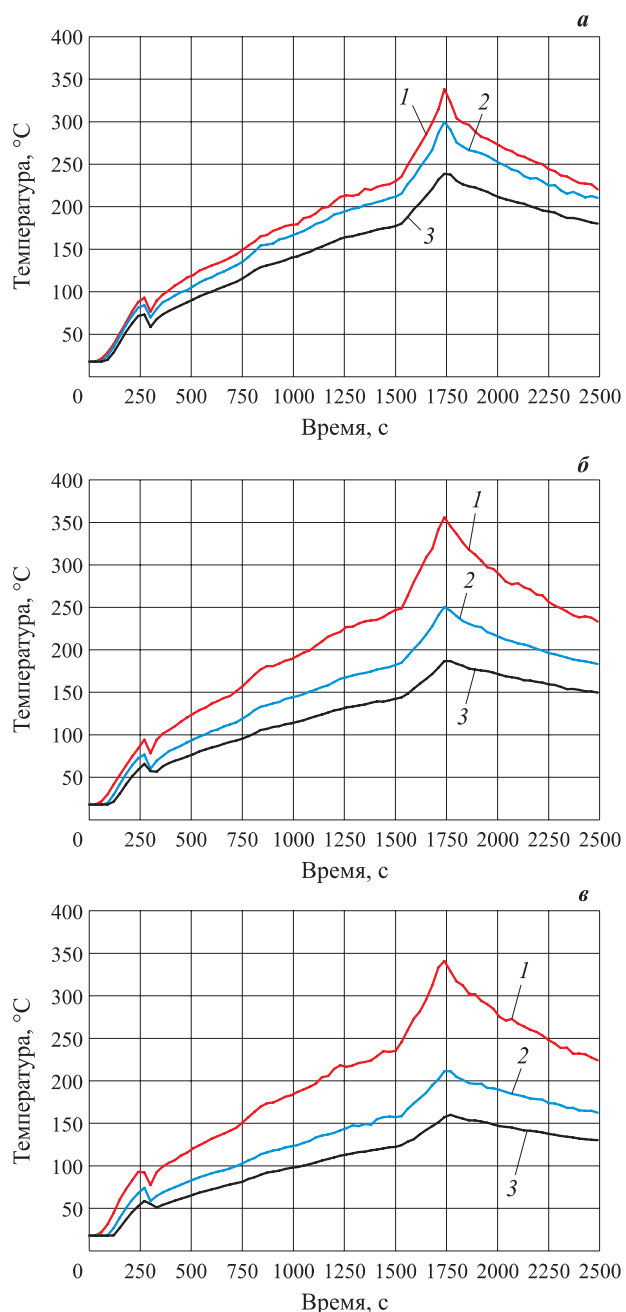
На рис. 2 показана динамика изменения максимальной температуры продуктов горения в сечении дымового клапана в коридоре кольцевой конфигурации при пожаре в жилом здании, на рис. 3 — в офисном здании.



**Рис. 2.** Динамика изменения максимальной температуры продуктов горения в сечении дымового клапана в коридоре кольцевой (а), угловой (б) и прямолинейной (в) конфигураций при пожаре в жилом здании: 1 — расположение дымового клапана вблизи дверного проема; 2 — среднее расположение дымового клапана; 3 — на максимальном расстоянии от дверного проема

Из рис. 2 и 3 видно, что с увеличением расстояния от дверного проема, ведущего из помещения очага пожара в коридор, до дымового клапана температура дыма, проходящего через клапан, снижается.

При расположении дымового клапана вблизи дверного проема из горящего помещения в коридор температура удаляемого дыма максимальна по отношению к вариантам среднего или наиболее удаленного расположения дымового клапана.



**Рис. 3.** Динамика изменения максимальной температуры продуктов горения в сечении дымового клапана в коридоре кольцевой (а), угловой (б) и прямолинейной (в) конфигураций при пожаре в офисном здании: 1 — расположение дымового клапана вблизи дверного проема; 2 — среднее расположение дымового клапана; 3 — на максимальном расстоянии от дверного проема

## Результаты расчетов

| Назначение<br>объекта | Конфигурация<br>коридора | Положение<br>клапана<br>относительно<br>дверного<br>проема | Температура дыма<br>в сечении дымового<br>клапана, °С, полученная |              |                                           |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------|
|                       |                          |                                                            | в численных<br>экспериментах                                      |              | расчетом<br>по методике<br>ВНИИПО*<br>[2] |
|                       |                          |                                                            | средняя                                                           | максимальная |                                           |
| Офисное               | Кольцевая                | Близко                                                     | 243                                                               | 338          | 205                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 242                                                               | 300          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 225                                                               | 239          |                                           |
|                       | Угловая                  | Близко                                                     | 254                                                               | 356          | 151                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 218                                                               | 250          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 174                                                               | 187          |                                           |
|                       | Прямолинейная            | Близко                                                     | 255                                                               | 366          | 110                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 166                                                               | 218          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 155                                                               | 161          |                                           |
| Жилое                 | Кольцевая                | Близко                                                     | 241                                                               | 329          | 222                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 238                                                               | 290          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 217                                                               | 231          |                                           |
|                       | Угловая                  | Близко                                                     | 257                                                               | 355          | 163                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 208                                                               | 238          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 155                                                               | 164          |                                           |
|                       | Прямолинейная            | Близко                                                     | 249                                                               | 350          | 117                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 148                                                               | 194          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 137                                                               | 140          |                                           |
| Торговое              | Кольцевая                | Близко                                                     | 258                                                               | 357          | 211                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 257                                                               | 315          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 242                                                               | 258          |                                           |
|                       | Угловая                  | Близко                                                     | 271                                                               | 379          | 155                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 232                                                               | 270          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 176                                                               | 191          |                                           |
|                       | Прямолинейная            | Близко                                                     | 255                                                               | 366          | 111                                       |
|                       |                          | Среднее                                                    | 166                                                               | 218          |                                           |
|                       |                          | Далеко                                                     | 154                                                               | 161          |                                           |

\* Значения приведены при пожаре с нагрузкой [15] для офисного (административное помещение; мебель + бумага (0,75 + 0,25)), жилого (здание 1-й и 2-й степеней огнестойкости; мебель + ткани) и торгового (промтовары; текстильные изделия) зданий. Количество пожарной нагрузки принималось согласно [16].

Это влияние усиливается с увеличением длины коридора для угловой и прямолинейной конфигураций по сравнению с кольцевой в случае среднего или наиболее удаленного положения дымового клапана. При расположении дымового клапана вблизи дверного проема для всех вариантов расстояние между ними неизменно.

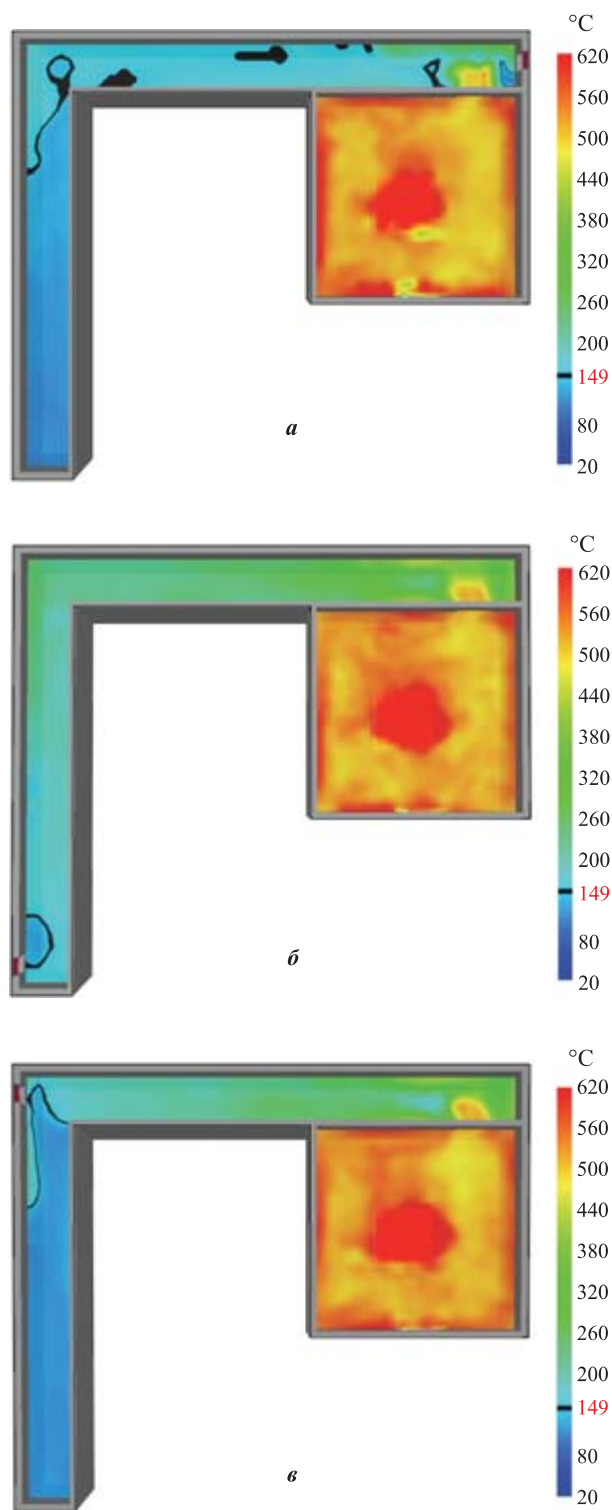


Рис. 4. Поле температуры на высоте 2 м от пола при пожаре в жилом здании с коридором угловой конфигурации при расположении дымового клапана на минимальном (а), максимальном (б) расстоянии от дверного проема из горящего помещения в коридор и посередине между этими двумя положениями (в)

В таблице представлены результаты расчетов по всем рассматриваемым вариантам.

Данные расчетов, полученные по методике [7], удовлетворительно согласуются с результатами чис-

ленных экспериментов для всех трех типов зданий с коридорами различной конфигурации при расположении дымового клапана на максимальном расстоянии от дверного проема, ведущего из горящего помещения в коридор. Для этого варианта площадь ограждающих конструкций коридора, участвующих в теплообмене, наибольшая по сравнению с другими вариантами и сопоставима с площадью  $A_c$ , принимаемой по формуле (1) для всей длины коридора. Расхождение при этом составляет от 2 до 29 %, причем для кольцевой и угловой конфигураций коридора оно не превышает 13 %.

При установке дымового клапана в среднем положении расхождение увеличивается до 34 %, а вблизи дверного проема — до 57 %.

Для практических расчетов расхода дыма, удаляемого при пожаре из коридора, по мнению авторов, целесообразно принимать не локальные значения температуры, а среднее по площади дымового клапана значение.

В свою очередь, значения температуры, полученные по методике [7] для полной длины коридора, являются существенно заниженными по сравнению с результатами численных экспериментов, что может привести к выбору вентилятора системы противодымной защиты с недостаточной производительностью.

На рис. 4 приведены результаты моделирования в виде полей температуры на высоте 2 м от пола при пожаре в жилом здании. Данные результаты подтверждают предположение о том, что при расположении дымового клапана на максимальном рассто-

янии от двери помещения с очагом пожара большая часть дымовой струи из горящего помещения по пути к клапану перемешивается с дымовоздушной смесью и температура удаляемого через клапан дыма снижается. При небольшом расстоянии от двери горящего помещения до клапана дымоудаления большая часть струи дыма, выходящей из двери горящего помещения, подходит к клапану дымоудаления с высокой температурой, и температура удаляемого дыма превышает среднюю температуру в коридоре.

## Выводы

1. Проведенные численные эксперименты подтверждают предположение о влиянии расположения дымовых клапанов относительно дверных проемов помещений очага пожара на температуру дымовых газов, удаляемых из коридора.

2. Результаты расчетов позволили выявить наилучший с точки зрения работы систем вытяжной противодымной вентиляции сценарий пожара. Таковым является вариант, при котором дымовой (противопожарный) клапан находится на минимальном расстоянии от двери помещения с очагом пожара и температура продуктов горения, удаляемых из коридора, максимальная.

3. При проведении практических расчетов, в том числе по [7, 14], следует учитывать минимальное расстояние от дверного проема помещения очага пожара (помещения, где возможно возникновение пожара) до дымового (противопожарного) клапана системы вытяжной противодымной вентиляции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klotz J. H., Milke J. A. Principles of smoke management. — Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002. — 377 p.
2. Klotz J. H., Milke J. A., Turnbull P. G., Kasher A., Ferreira M. J. Handbook of Smoke Control Engineering. — Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. — 512 p.
3. Maddox J. A. Smoke control and high-rise office buildings with operable windows: two case studies // Conference Proceeding by ASHRAE. — 2004. — Vol. 110, Part 1. — P. 646–651.
4. Есин В. М., Ерофеев А. Н., Валеев Г. Н. Температурные режимы в помещениях на этаже, где происходит пожар // Огнестойкость строительных конструкций : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1987. — С. 53–62.
5. Есин В. М., Калмыков С. П. Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 47–52.
6. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013.
7. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий. Методические рекомендации к СП 7.13130.2013. — М. : ВНИИПО МЧС РФ, 2013.
8. Казиев М. М., Зубкова Е. В. Пожароустойчивость светопрозрачных строительных конструкций // Стекло и бизнес. — 2014. — № 2. — С. 60–63.

9. McGrattan K. et al. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5. — Washington : National Institute of Standards and Technology, 2007.
10. Mayfield C., Hopkin D. Design Fires for Use in Fire Safety Engineering (FB 29). — Bracknell : IHS BRE Press, 2011. — 82 p.
11. Heskestad G., Hill J. P. Experimental Fires in Multiroom / Corridor Enclosures. — Gaithersburg : National Bureau of Standards; NBS GCR-86-502, 1986. — 130 p.
12. Yau R., Cheng V., Yin R. Treatment of fire source in CFD models in performance-based fire design // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2003. — Vol. 5, No. 3. — P. 54–68.
13. Казиев М. М., Подгрушный А. В., Дудунов А. В. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2009. — № 2. — С. 5–10.
14. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий. Рекомендации АВОК 5.5.1–2015. — М. : НП “АВОК-Пресс”, 2014.
15. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000.
16. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2005.

*Материал поступил в редакцию 10 сентября 2015 г.*

**Для цитирования:** Есин В. М., Калмыков С. П. К вопросу расчета температуры продуктов горения, удаляемых из коридоров зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 47–53. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.47-53.

English

## TO THE QUESTION OF CALCULATION OF TEMPERATURE OF THE PRODUCTS OF BURNING DELETED FROM CORRIDORS OF BUILDINGS

**ESIN V. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: vm-yesin@mail.ru)

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

### ABSTRACT

An inspection of the assumption of incomplete participation in heat exchange of the protecting corridor designs at the fire with a research objective of influence of an arrangement of smoke valves in relation to doorways of placements of the seat of fire on temperature of the combustion gases deleted from a corridor, and definition of the worst scenario of the fire from the point of view of work of systems of exhaust smoke ventilation is carried out. The values of temperature received by the existing settlement techniques for the full length of a corridor, are significantly underestimated in relation to results of the numerical experiments received in article that can cause a choice of the fan of system of smoke control system with an insufficient productivity. Results of calculations allowed to reveal the worst scenario of the fire from the point of view of work of systems of exhaust smoke ventilation from corridors; that is the option, when temperature of the products of burning deleted from a corridor maximum, i. e. when the smoke (fire-prevention) valve is at the minimum distance from a room door with the seat of fire. It is noted that for carrying out practical calculations it is necessary to consider the minimum distance from a doorway of the room of the seat of fire (the room where fire emergence) to the smoke valve (fire-prevention) of system of exhaust smoke ventilation.

**Keywords:** smoke ventilation; smoke control system; fire safety; temperature of products of burning; smoke valve; heat exchange.

## REFERENCES

1. Klote J. H., Milke J. A. Principles of smoke management. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2002. 377 p.
2. Klote J. H., Milke J. A., Turnbull P. G., Kashef A., Ferreira M. J. Handbook of Smoke Control Engineering. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. 512 p.
3. Maddox J. A. Smoke control and high-rise office buildings with operable windows: two case studies. *Conference Proceeding by ASHRAE*, 2004, vol. 110, part 1, pp. 646–651.
4. Esin V. M., Erofeev A. N., Valeev G. N. Temperaturnyye rezhimy v pomeshcheniyakh na etazhe, gde proiskhodit pozhar [Temperature conditions in rooms on a floor where there is a fire]. *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsey. Sbornik nauchnykh trudov* [Fire-resistance of building constructions. Collected scientific papers]. Moscow, All-Union Research Institute for Fire Protection of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1987, pp. 53–62.
5. Esin V. M., Kalmykov S. P. Sravneniye metodik rascheta trebuyemykh parametrov ventilyatsionnykh sistem protivodymnoy zashchity mnogoetazhnykh zdaniy [Comparison of method of calculation of demanded parameters of ventilating systems of smoke control of multistoried buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 47–52.
6. Set of rules 7.13130.2013. Heating, ventilation and conditioning. Fire safety requirements. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013 (in Russian).
7. Settlement determination of main parameters of smoke ventilation of buildings. Methodical recommendations to Set of rules 7.13130.2013. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013 (in Russian).
8. Kaziev M. M., Zubkova E. V. Pozharoustoychivost svetoprozrachnykh stroitelnykh konstruktsey [Fire resistance of translucent construction designs]. *Steklo i biznes — Glass & Business*, 2014, no. 2, pp. 60–63.
9. McGrattan K. et al. *Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5*. Washington, National Institute of Standards and Technology, 2007.
10. Mayfield C., Hopkin D. *Design Fires for Use in Fire Safety Engineering (FB 29)*. Bracknell, IHS BRE Press, 2011. 82 p.
11. Heskestad G., Hill J. P. *Experimental Fires in Multiroom/Corridor Enclosures*. Gaithersburg, National Bureau of Standards; NBS GCR-86-502, 1986. 130 p.
12. Yau R., Cheng V., Yin R. Treatment of fire source in CFD models in performance-based fire design. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2003, vol. 5, no. 3, pp. 54–68.
13. Kaziev M. M., Podgrushnyj A. V., Dudunov A. V. Razrusheniye svetoprozrachnykh stroitelnykh konstruktsey pri teplovom vozdeystvii v usloviyakh pozhara [A pane of glass destruction under thermal influence in the conditions of a fire]. *Pozhary i schezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2009, no. 2, pp. 5–10.
14. Calculation of smoke protection systems for residential and commercial buildings. Recommendations AVOK 5.5.1–2015. Moscow, NP ABOK-Press Publ., 2014.
15. Koshmarov Yu. A. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. Uchebnoye posobiye [Modeling and analysis of human movements in various buildings. Schoolbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000.
16. Molchadskiy I. S. Pozhar v pomeshchenii [Fire indoors]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2005.

**For citation:** Esin V. M., Kalmykov S. P. K voprosu rascheta temperatury produktov goreniya, udalyayemykh iz koridorov zdaniy [To the question of calculation of temperature of the products of burning deleted from corridors of buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 47–53. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.47-53.

**А. Л. ДУШКИН**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4)

**С. Е. ЛОВЧИНСКИЙ**, инженер, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: Lovchinskiy@inbox.ru)

**Н. Н. РЯЗАНЦЕВ**, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4)

УДК 614.841

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ МАСЛОПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Освещены результаты экспериментального исследования подавления очагов воспламенения маслонаполненного трансформатора с учетом охлаждения его разогретых элементов. Показано, что тушение трансформатора неразрывно связано с охлаждением нагретых тепловым потоком частей и элементов трансформатора, причем необходимость охлаждения металлических частей в несколько раз увеличивает требуемое время подачи тонкораспыленной воды по сравнению с временем тушения масла на горизонтальной поверхности поддона. Определено время, необходимое для надежного тушения и охлаждения нагретых частей трансформатора до температуры ниже температуры самовоспламенения масла для потока тонкораспыленной воды.

**Ключевые слова:** тонкораспыленная вода; тушение; охлаждение; интенсивность орошения; маслонаполненный трансформатор.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.54-60

Применяемые в настоящее время автоматические системы пожаротушения маслонаполненных трансформаторов, использующие традиционные дренчерные оросители, как минимум, недостаточно эффективны. Об этом свидетельствует, в частности, повышенный расход воды, энергоемкость которого на порядок превышает тепловыделение от очага пожара. Коренным образом изменить положение дел может применение высокоскоростных потоков тонкораспыленной воды [1].

В сложившейся ситуации чрезвычайно важным является знание оптимальных параметров потока жидкости, а именно размера капель, скорости их движения и интенсивности орошения защищаемой поверхности.

В многочисленных работах, проведенных в последние годы [2–5] и связанных с тонкораспыленной водой, показано, что такое огнетушащее вещество (ОТВ) может иметь широкое распространение в области пожаротушения и подавления очагов возгорания легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) благодаря своей высокой эффективности.

Успешное тушение пожара тонкораспыленной водой определяется не только размерами капель огнетушащего вещества, но и в большей степени их скоростью и интенсивностью орошения защищаемой поверхности [6]. В связи с этим требуется тщательный подбор распылителей [7] с учетом их параметров и характеристик, генерирующих тонкораспыленную воду, для их применения в системах противопожарной защиты маслонаполненных трансформаторов. При этом следует учитывать, что для установок автоматического пожаротушения используется вода, которая не требует специальной степени очистки.

При создании противопожарных систем определяющим параметром [8] является критическая (определяющая нормативную) или минимально возможная интенсивность подачи огнетушащего вещества, т. е. необходимый расход ОТВ на единицу площади и время подачи для обеспечения надежного тушения и охлаждения нагретых во время пожара элементов защищаемого объекта.

Именно эти два параметра определяют требуемое количество ОТВ, которое необходимо запасти и

подать на защищаемый объект [9]. При существующих для маслонаполненных трансформаторов нормах по интенсивности орошения ( $J = 0,2 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) и времени тушения ( $\tau = 30 \text{ мин}$ ) система пожаротушения требует неоправданно больших расходов и запасов воды, что ведет к удорожанию системы, сооружению специальных водоемов или емкостей, увеличению потребной мощности для обеспечения функционирования системы.

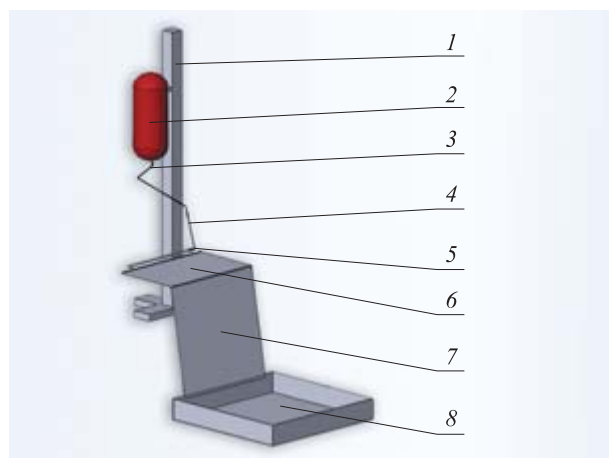
Для определения критической интенсивности орошения и необходимого времени тушения и охлаждения трансформатора была создана экспериментальная установка, моделирующая следующие типы (виды) пожаров на трансформаторе:

- горение масла в маслоприемнике трансформатора;
- горение масла на горизонтальных поверхностях, покрытых гравием, песком, землей и т. п.;
- горение масла на вертикальных поверхностях, имитирующих разрушение стенок трансформатора;
- горение масла на предварительно нагретых металлических элементах и фрагментах трансформатора от уже существующего пожара или от внешнего источника (пожар соседнего трансформатора, электрический разряд и т. п.);
- горение масла при его истечении из образовавшейся щели (негерметичность);
- горение масла на элементах конструкции токоввода при его разрушении;
- охлаждение нагретых элементов конструкции до температуры ниже уровня воспламенения масла.

Наибольшее значение имеют экспериментальные данные, которые получены в результате исследования на моделях, максимально приближенных к реальным условиям тушения пожара на конкретном объекте [10, 11].

Электротехнические элементы трансформатора имеют большую тепловую инерционность (медь). По этой причине темп охлаждения всего трансформатора даже потоком тонкораспыленной воды будет мал —  $10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/с}$ . Возгорание и пожар трансформатора носят случайный характер как по месту и площади, так и по характеру и причине зажигания. В связи с этим для определения времени тушения на какой-либо модели, приближенной к реальным условиям, необходимо воспроизвести на ней как можно большее количество типов пожаров на трансформаторе. Как уже говорилось, модель должна отражать наиболее жесткие критические параметры возгорания.

Во-первых, важно создать тепловые потоки от очага горения к поверхности емкости с маслом, которые были бы равны по величине реальным. Во-вторых, необходимо обеспечить темп нагрева масла в



**Рис. 1.** Модельная установка для определения температуры поверхности трансформатора и плотности тепловых потоков при розливе и возгорании масла: 1 — стойка крепления емкости с трансформаторным маслом; 2 — емкость с трансформаторным маслом; 3 — запорная арматура подачи трансформаторного масла; 4 — гибкая магистраль; 5 — трубка формирования модели розлива трансформаторного масла; 6 — поверхность распределения масла; 7 — поверхность измерения температуры с термопарой; 8 — поддон с ЛВЖ

емкости, близкий к темпу нагрева масла в трансформаторе при пожаре на всех поверхностях.

Плотность тепловых потоков к поверхности емкости с маслом была определена экспериментально на установке, представленной на рис. 1.

В поддоне 8 формировался модельный очаг согласно нормам проведения испытаний, которые описаны в [12]. В качестве горючего материала при проведении испытаний применялось масло трансформаторное Nytro 11GX (11GBX), соответствующее стандарту IEC 60296:03.

После поджога очага измерялось время горения и температура поверхности 7 термодатчиком и тепловизором FLIR.

По истечении 120 с открывался кран подачи ОТВ 3, после чего масло из емкости 2 по гибкой магистрали 4 поступало в трубку 5 и распределялось по поверхности 6, а затем — по поверхности 7.

На рис. 2 приведен снимок с тепловизора, полученный в этом экспериментальном исследовании. По изменению температуры с начала возгорания определяли плотность теплового потока к стенке, как количество тепла, полученного стенкой в единицу времени с единицы площади с учетом теплоемкости материала стенки.

Зарегистрированные тепловизором FIRE и хромель-алюмелевым термодатчиком значения температуры стенки (рис. 3) в различные моменты времени позволяют провести теплофизические расчеты температуры поверхности трансформатора и плотности теплового потока (рис. 4), идущего на разогрев масла внутри его.

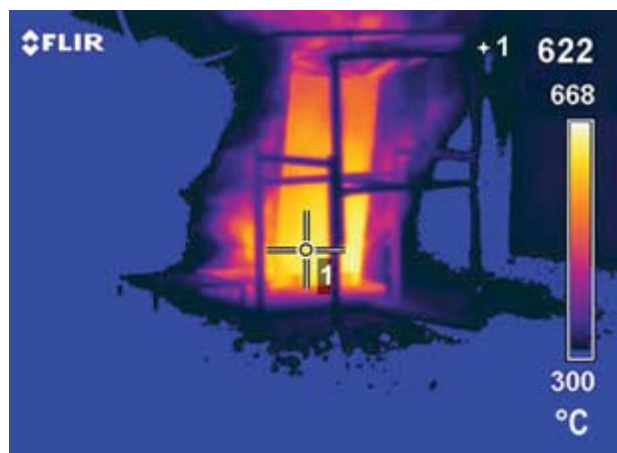


Рис. 2. Температурное поле пластины через 180 с от начала горения

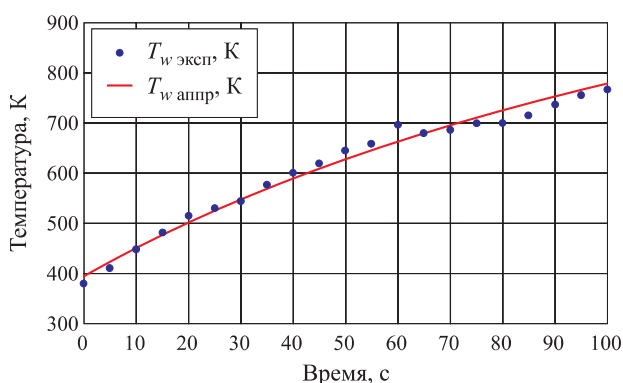


Рис. 3. Результаты измерения ( $T_{w\text{эксп}}$ ) и аппроксимации ( $T_{w\text{аппр}}$ ) температуры

Тепловой поток от факела горения к вертикальной стенке  $q_{\text{exp}}$  складывается из теплового потока, идущего на разогрев стенки  $q_v$ , теплового потока, уходящего за счет излучения с поверхности стенки  $q_{\text{em}}$ , и теплового потока, снимаемого за счет конвекции воздуха окружающей среды. Суммарная плотность теплового потока к вертикальной стенке составляла 60...75 кВт/м<sup>2</sup>.

Плотность теплового потока  $q_v$  определялась из решения обратной задачи теплопроводности методом регуляризации по результатам измерения температуры стенки.

Для вычисления плотности теплового потока за счет излучения  $q_{\text{em}}$  использовалось уравнение Стефана – Больцмана:

$$q_{\text{em}} = \sigma_s \varepsilon_{\text{ef}} (T_w^4 - T_{\text{amb}}^4),$$

где  $\sigma_s$  — постоянная излучения абсолютно черного тела (постоянная Стефана – Больцмана), Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  
 $\sigma_s = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  
 $\varepsilon_{\text{ef}}$  — эффективная степень черноты поверхности;  
 $\varepsilon_{\text{ef}} = 0,8$ ;  
 $T_w, T_{\text{amb}}$  — измеренная температура соответственно поверхности и окружающей среды, К.

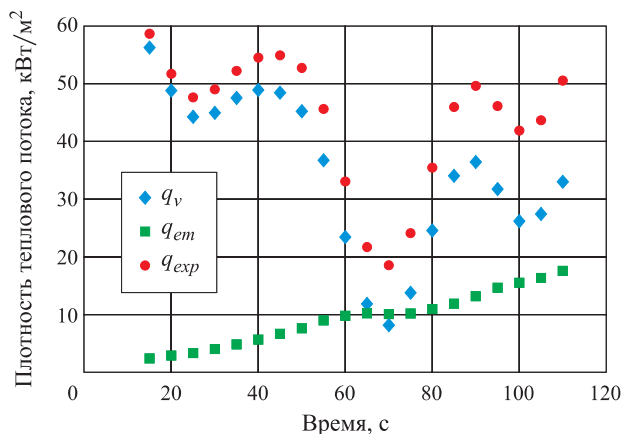


Рис. 4. Результаты определения плотности теплового потока, идущего на изменение энтальпии  $q_v$ , уходящего за счет излучения  $q_{\text{em}}$ ;  $q_{\text{exp}}$  — суммарная плотность теплового потока от факела к стенке

Эффективная степень черноты поверхности определялась по результатам измерения температуры стенки термометрами и тепловизором.

Темп нагрева жидкости или твердого тела выражается (в осредненных по площади поверхности и объему величинах) формулой

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{\int_S q dS}{\int_V \rho C dV} = \frac{\bar{q} S_{\Sigma}}{\bar{\rho} \bar{C} V}, \quad (1)$$

где  $q$  — удельная плотность теплового потока от пожара, кВт/м<sup>2</sup>;

$S_{\Sigma}$  — суммарная, воспринимающая этот поток площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$V$  — объем масла, м<sup>3</sup>;

$\bar{q}, \bar{\rho}, \bar{C}$  — средние значения плотности теплового потока, плотности масла и его теплоемкости.

Весь внутренний объем трансформатора 50 м<sup>3</sup> с маслом, обмотками, электротехническими элементами обладает громадной тепловой инерционностью из-за высокой теплоемкости масла:  $\rho CV \approx 846 \cdot 2,0 \times 50 = 84,600$  МДж/°С (здесь  $\rho$  — плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $C$  — удельная теплоемкость масла, Дж/(кг·°С)).

Подставив в формулу (1) известные значения (при общей площади реального трансформатора  $S = 270$  м<sup>2</sup> и объеме масла  $V = 50$  м<sup>3</sup>), получим:

$$\Delta t / \Delta \tau = 0,2237.$$

Тогда за 180 с масло нагреется на  $\Delta t \approx 40$  °С.

Однако определенная таким образом температура является усредненной температурой по объему. В действительности же у стенки, в так называемом пограничном слое, существует вероятность локального вскипания масла. Это явление может усиливаться из-за случайных отклонений тепловыделения при пожаре, что характерно для горения горючих жидкостей. При кипении объем масла увеличивается,

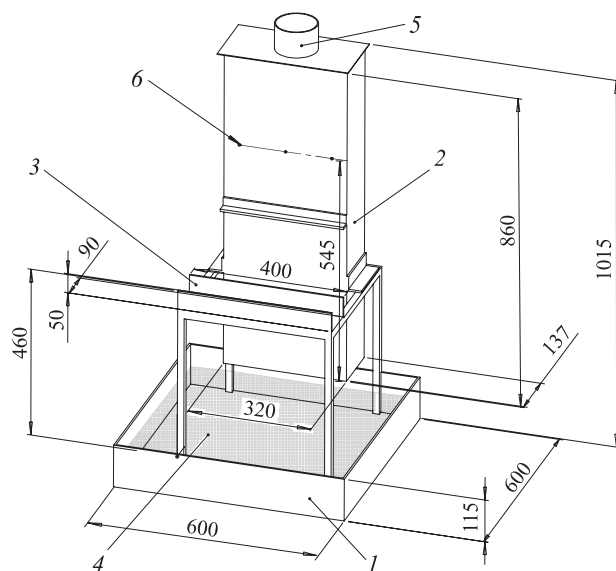
давление внутри корпуса растет и, как следствие, повышается вероятность разрыва стенок трансформатора.

Из выражения (1) видно, что при создании на экспериментальной установке теплового потока  $q$  и использовании масла, идентичного натурному, модель должна обеспечить отношение площади поверхности, воспринимающей тепловой поток, к объему масла, близкое или большее по величине:

$$270 \text{ м}^2 / 50 \text{ м}^3 = 5,4 \text{ м}^{-1}.$$

Установка, моделирующая возможные типы горения масла на трансформаторе, представляет собой прямоугольную емкость вместимостью 39,5 л, установленную над поддоном, для поджига в нем масла (рис. 5).

Емкость установки 2 находится в металлическом поддоне 1, который заполняется гравием 4 (имитирующим засыпку маслосборника) и 5 л трансформаторного масла. В емкость установки 2 заливается 35 л масла и помещается хромель-копелевая термопара.



**Рис. 5.** Установка, моделирующая возможные типы горения масла на трансформаторе: 1 — поддон; 2 — емкость; 3 — швеллер; 4 — гравий; 5 — масло; 6 — отверстия

На фронтальной поверхности емкости просверлены три отверстия 6, моделирующие трещину в корпусе, через которую вытекает масло при пожаре.

Фрагмент стального швеллера 3 моделирует металлические элементы, подвергаемые нагреву в процессе горения масла в маслоприемнике и инициирующие возможное повторное возгорание масла после тушения.

Горение основания токоввода при его разрушении моделируется противнем 5 с маслом, установленным на крышку емкости.

Отношение площади поверхности, воспринимающей тепловой поток, к объему масла  $S/V = 6...7 \text{ м}^{-1}$ .

Работа установки начиналась с поджога масла в поддоне в верхней емкости, установленной на крышке. После возгорания пускового бензина (~1 мин) открывались отверстия в корпусе над горящим маслом в поддоне. В части экспериментов перед поджигом на крепежную раму помещался швеллер таким образом, чтобы потоки масла через отверстия попадали на его полку; воспроизводился также пожар с выбросом масла, но без газов, путем добавления в емкость с маслом около 0,1 л воды, которая при нагреве масла свыше  $100^\circ\text{C}$  вскипала и выбрасывалась через верхнюю крышку масло наружу.

В таблице представлены результаты экспериментов, которые являются обобщением опытов (не менее трех) с одними и теми же условиями проведения. Во всех опытах время свободного горения масла в основном поддоне составляло не менее 180 с. Причем за требуемое время тушения и охлаждения принималось то время прекращения горения, при котором не возникало повторного воспламенения после прекращения подачи ОТВ. Экспериментальные работы проводились при использовании в качестве ОТВ воды из пожарно-хозяйственного водопровода.

Из таблицы видно, что наибольшее время тушения и охлаждения составляет 105 с при использовании тонкораспыленной воды.

По результатам более 40 опытов были получены средние значения времени тушения и охлаждения элементов и фрагментов трансформатора тонкорас-

Время тушения и охлаждения частей трансформатора при интенсивности орошения  $J = 0,04...0,05 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

| Условия проведения тушения                                                                    | Время тушения поддона, с | Время тушения и охлаждения, с | Скорость нагрева, $^\circ\text{C}/\text{с}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| Горение в поддоне и на поверхности емкости                                                    | 46                       | 46                            | 0,27                                        |
| Горение с выплеском масла на 25-й секунде                                                     | 49                       | 49                            | 0,29–0,45                                   |
| Горение в поддоне и на швеллере                                                               | 32                       | 105                           | До 0,4                                      |
|                                                                                               | 27                       | 59                            | 0,35                                        |
| Горение в поддоне, на элементах крепления и истекающего из щелей корпуса трансформатора масла | 30                       | 95                            | 0,40                                        |
| Горение в поддоне с гравием                                                                   | 49                       | 49                            | 0,25                                        |

пыленной водой  $\bar{\tau} \cong 68$  с. При задании требуемого риска  $\xi$ , т. е. вероятности того, что условие  $\tau < \bar{\tau}$  не будет достаточным для успешного тушения и охлаждения трансформатора, расчетное время тушения можно определить аналитически:

$$\tau = \bar{\tau} \ln(1/\xi). \quad (2)$$

Это выражение в какой-то мере отражает доминирующую роль случайных факторов в процессе тушения пожара. По нашему мнению, для противопожарной защиты такого сложного объекта, как мощный трансформатор, аварийный режим которого обусловлен многими причинами, а в большинстве случаев их совокупностью, требуемый риск  $\xi = 0,1$ , т. е. при тушении 100 пожаров 10...12 пожаров не будут полностью потушены за расчетное время. Тогда время надежного тушения всех типов пожара с учетом охлаждения нагретых частей и фрагментов трансформатора без повторного возгорания при интенсивности подачи  $J = 0,04...0,05$  л/(м<sup>2</sup>·с) составит при тушении ТРВ:  $\tau = 68 \cdot 2,3 = 156,4 \approx 2,6$  мин.

На основании проведенных исследований была разработана, спроектирована, изготовлена, смонтирована и запущена в опытную эксплуатацию полно-размерная установка пожаротушения низкого давления (до 1,25 МПа), предназначенная для тушения трансформатора АТДЦТН 250000/220/110/10 на трансформаторной подстанции “Тула”.

### Выводы

Тушение трансформатора неразрывно связано с охлаждением нагретых тепловым потоком частей и

элементов трансформатора, причем необходимость охлаждения металлических частей в несколько раз увеличивает потребное время подачи тонкораспыленной воды по сравнению с временем тушения масла на горизонтальной поверхности поддона.

Время надежного тушения и охлаждения нагретых частей трансформатора до температуры ниже температуры самовоспламенения масла для потока тонкораспыленной воды составляет ~156 с.

Выброс масла при газообразовании в корпусе трансформатора (без участия горения газов пиролиза) и случайное усиление тепловыделения при пожаре не приводит к увеличению потребного времени подачи ТРВ относительно полученных значений с вероятностью не менее 0,9.

Температура поверхности трансформатора, обращенной к маслу, может быть равной 340...380 °С, т. е. близкой к температурам начала кипения масла (300...400 °С). Переход к пленочному кипению для рассматриваемого случая маловероятен.

Измеренные значения теплового потока  $q_{exp}$ , поступающего на разогрев стенки швеллера, составляют 100...120 кВт/м<sup>2</sup>, что больше в 1,6 раза по сравнению с разогревом вертикальной стенки трансформатора (60...75 кВт/м<sup>2</sup>).

Измеренные значения теплового потока  $q_{exp}$  при охлаждении швеллера струей газокapельного потока составляют 35...50 кВт/м<sup>2</sup>.

Проведенные исследования позволяют снизить нормативную интенсивность орошения водой трансформатора в 2 раза при тушении тонкораспыленной водой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов В. В., Тузов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
2. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires // Suppression and Detection Research and Applications Conference. — USA, Orlando, 2007. — P. 217–223.
3. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression tests using a handheld water mist extinguisher designed for the International space station // 42<sup>nd</sup> International Conference on Environmental Systems. USA, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012, pp. 115–118. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
4. Branelle Rodriguez, Gina Young. Development of the International space station fine water mist portable fire extinguisher // 43<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Systems. — CO, Vail, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
5. Корольченко Д. А., Громоной В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1-2. — С. 331–335.
6. Карпышев А. В., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Афанасьев А. А., Матушкин В. В., Сегаль М. Д. Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 2. — С. 69–73.

7. Пат. 2545283 С1 Российская Федерация. МПК В05В 1/14. Распылитель жидкости / Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Ловчинский С. Е. — № 2014103561/05; заявл. 04.02.2014; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9.
8. Андрияшкин А. Ю., Пелех М. Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
9. Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
10. Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 45–58.
11. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
12. Руководство по определению параметров автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой. — Введ. 10.12.2002. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2004.

*Материал поступил в редакцию 16 ноября 2015 г.*

**Для цитирования:** Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Экспериментальные исследования метода подавления возгорания маслонаполненного трансформатора тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 54–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.54-60.

English

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF OIL FILLED TRANSFORMER FIRE WATER MIST SUPPRESSION METHOD

**DUSHKIN A. L.**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation)

**LOVCHINSKIY S. Ye.**, Engineer, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail address: Lovchinskiy@inbox.ru)

**RYAZANTSEV N. N.**, Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, GSP-3, Moscow, 125993, Russian Federation)

### ABSTRACT

Oil filled transformer fire protection with automatic systems applied is connected with the problems of reducing both a desired fire extinguishing agent amount and power capacity for system device actuation.

A possibility of lowering water mist spray intensity over transformer surfaces has been considered.

A technique research of transformer structural component fire suppression and cooling at a prototype system similar to a real one by heat fluxes was allowed to specify the time of effective fire fighting and cooling of heated transformer components up to the temperature lower than that of oil self-ignition for a water mist flow.

The paper shows that transformer oil fire suppression is closely connected with cooling of heated due to heat fluxes transformer parts and components, the necessity of cooling metal parts is making the desired fire extinguishing agent delivery time greater by several fold as compared with that of oil fire suppression on a horizontal oil header surface.

**Keywords:** water mist; extinguishment; cooling; spray intensity; oil filled transformer.

## REFERENCES

1. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatic water-based fire suppression with using water spray in power stations]. *Energetik — Power & Electrical Engineering*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
2. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires. *Suppression and Detection Research and Applications Conference*. USA, Orlando, 2007, pp. 217–223.
3. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression tests using a handheld water mist extinguisher designed for the International space station. *42<sup>nd</sup> International Conference on Environmental Systems*. USA, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012, pp. 115–118. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
4. Branelle Rodriguez, Gina Young. Development of the International space station fine water mist portable fire extinguisher. *43<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Systems*. CO, Vail, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
5. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysootnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.
6. Karpyshev A. V., Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Afanasyev A. A., Matushkin V. V., Segal M. D. Razrabotka vysokoeffektivnogo universalnogo ognetyshitelya na osnove generatsii struy tonkoraspylennykh veshchestv [Development of the highly effective universal fire extinguisher on basis of generation of sprayed streams of the extinguishing substances]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 69–73.
7. Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Lovchinskiy S. Ye. Raspylitel zhidkosti [Liquid atomizer]. Patent RU, no. 2545283, 27.03.2015.
8. Andryushkin A. Yu., Peleh M. T. Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylennoy vodoy [Efficiency of the stewing fire by sprayed water]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Control Risks Issues in Technosphere*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69.
9. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspylennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity kabelnykh sooruzheniy AES [The water mist system for cable construction of nuclear power plant fire protection]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 2011, no. 4, pp. 61–64.
10. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L. Izucheniye zakonomernostey tusheniya tonkoraspylennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Studying of suppression regularities by sprayed water of model fire seats]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–58.
11. Korolchenko D. A. Izmeneniye kharakteristik goreniya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vodoy [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
12. *Guide to determine parameters of automatic water mist fire extinguishing systems*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2004 (in Russian).

**For citation:** Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye., Ryazantsev N. N. Eksperimentalnyye issledovaniya metoda podavleniya vozgoraniya maslonapolnennogo transformatora tonkoraspylennoy vodoy [Experimental research of oil filled transformer fire water mist suppression method]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 54–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.54-60.

**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)

УДК 614.84.664

## ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ С ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВСПЫШКИ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СЛОЕВ С ПОМОЩЬЮ ВОЗДУХА И ПЕНОЙ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ (ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ)

Определен способ тушения горючих жидкостей, имеющих высокую температуру кипения, который предусматривает охлаждение поверхностного слоя до температуры вспышки. Получена кривая зависимости удельного расхода воздуха от интенсивности его подачи с минимумом, положение которого соответствует оптимальной интенсивности подачи. Рассмотрена модель процесса тушения пламени горючей жидкости методом перемешивания ее “холодных” слоев, поступающих на поверхность с восходящим потоком воздуха, с горящим слоем. Проведено сравнение результатов расчета и экспериментов по тушению пламени дизельного топлива на полигоне и стендовой установке. Сопоставлены результаты тушения горючей жидкости методом перемешивания слоев с помощью воздуха и пеной низкой кратности, полученной из пенкообразующего пенообразователя.

**Ключевые слова:** тушение горючих жидкостей; тушение подслоинным способом; горение резервуара; модель процесса тушения струей воздуха; пена низкой кратности.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.61-67

Способ тушения горючих жидкостей (ГЖ), имеющих высокую температуру кипения, предусматривает охлаждение их поверхностного слоя до температуры вспышки [1–3]. Этот эффект может быть обеспечен подачей воды грубого распыла [4, 5] или фреона в виде распыленной струи [6, 7] либо методом перемешивания нижележащих “холодных” слоев нефтепродукта в резервуаре с верхними, температура которых близка к температуре кипения [1, 2]. Перемешивание нефтепродукта достигается также при подаче пены в основание резервуара в слой нефтепродукта [5, 8–10].

Метод перемешивания при тушении дизельного топлива активно разрабатывался в 60-е годы [1, 3] и был обобщен в работе Блинова – Худякова [1]. Большое внимание в ней было уделено тушению пожаров нефти подачей струи воздуха в основание резервуара. Воздух не является огнетушащим веществом, но в частном случае с его помощью достигается эффект прекращения горения. Иначе говоря, хотя тушение обеспечивается не самим воздухом, а вследствие перемешивания холодных слоев нефтепродукта с горящим поверхностным слоем, фактически речь идет о способе тушения с помощью воздуха, который и создает условия для перемешивания слоев.

При этом чем больше расход воздуха, тем больше “холодного” дизельного топлива поднимается к горячей поверхности. По мере вытеснения с границы раздела кипящей жидкости и формирования на горячей поверхности “холодного” слоя температура поверхностного слоя снижается и, как следствие, уменьшается скорость испарения углеводорода. После полного покрытия горячей поверхности слоем с температурой ниже, чем температура вспышки, горение прекращается.

Цель настоящей работы — разработать модель процесса тушения пламени горючей жидкости (дизельного топлива) и выявить оптимальные параметры его тушения методом перемешивания ГЖ струей воздуха.

Работу проводили на стендовой установке, предназначенной для исследования огнетушащей эффективности пенообразователей, применяемых для “подслоинного” тушения пожаров нефтепродуктов, по ГОСТ Р 50588–2012. В данном случае для испытаний вместо пены в основание резервуара подавали воздух с заданным расходом, при этом исследовали зависимость времени тушения и удельного расхода воздуха от интенсивности его подачи.

В работе Блинова – Худякова [1] было предложено эмпирическое уравнение для описания зависимости времени тушения  $\tau_t$  (с) от расхода воздуха. При прочих равных условиях эта зависимость имеет вид:

$$\tau_t = \frac{a_4}{q_0^{2/3} - q_{кр}^{2/3}}, \quad (1)$$

где  $a_4$  — параметр, зависящий от физико-химических свойств жидкости,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/3}$ ;

$q_0$  — расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$q_{кр}$  — критический расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Удельный расход воздуха  $Q$  ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), использованного на тушение ГЖ, определяется по формуле

$$Q = J\tau_t, \quad (2)$$

где  $J$  — интенсивность подачи воздуха,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Анализ зависимости удельного расхода воздуха от интенсивности его подачи с использованием формул (1) и (2) показывает, что данная зависимость не имеет минимума, поэтому непригодна для выявления оптимальной интенсивности подачи воздуха при тушении пламени подслоным способом.

На рис. 1 представлены результаты экспериментов, полученные при исследовании зависимости времени тушения от расхода воздуха [1]. Судя по форме экспериментальной кривой, эти результаты не могут быть описаны формулами (1) и (2), а дополнительный анализ, проведенный нами, позволил получить кривую удельного расхода воздуха с минимумом, положение которого соответствует оптимальной интенсивности его подачи.

Рассмотрим модель процесса тушения пламени дизельного топлива методом перемешивания потоков холодной жидкости, увлекаемых вверх восходящим потоком воздуха, с горящим поверхностным слоем ГЖ.

В замечаниях Блинова – Худякова [1] было указано, что “...холодная жидкость, вынесенная струей из глубинных слоев, растекается по поверхности... и играет роль полога, прикрывающего жидкость...”.

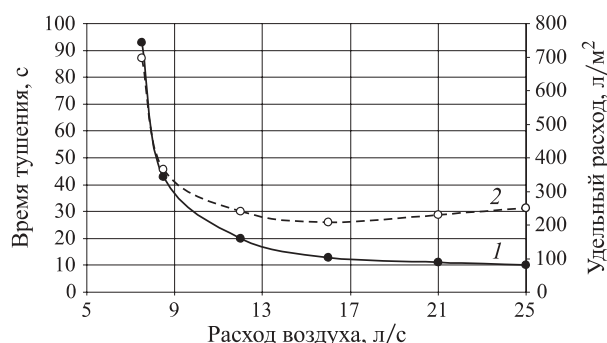


Рис. 1. Зависимость времени тушения (эксперимент Блинова – Худякова) (1) и удельного расхода (рассчитанного нами) (2) от расхода воздуха, подаваемого в слой горящего дизельного топлива

Исходя из этого в настоящей работе предложена модель процесса тушения жидкости, предусматривающая формирование на горячей поверхности слоя жидкости с температурой ниже температуры вспышки. Этот слой в дальнейшем будем называть “холодным”.

Анализ процесса тушения основан на рассмотрении материального баланса жидкости, поступающей в поверхностный слой и опускающейся в глубину за счет конвективных потоков, которые формируются восходящим потоком воздуха и вследствие разницы в плотностях “холодной” и горячей жидкости.

При подаче воздуха масса жидкости из нижних слоев нефтепродукта в резервуаре увлекается им к поверхности. По мере растекания “холодного” слоя жидкости по горячей поверхности скорость ее испарения снижается и, соответственно, уменьшается тепловой поток от факела пламени к горячей поверхности. Тушение пламени будет достигнуто, когда вся поверхность горячей жидкости будет полностью покрыта “холодным” слоем жидкости.

При анализе результатов эксперимента основная трудность была связана с определением интенсивности потока жидкости, формирующегося струей поднимающихся пузырей воздуха. Судя по работам [1, 2], эта зависимость при невысоких расходах воздуха близка к линейной; при этом количество поднимающегося раствора численно в 7–10 раз меньше расхода воздуха. Уточнение величины, характеризующей соотношение расходов воздуха и нефтепродукта, будет проведено после сопоставления результатов расчета и эксперимента.

Для анализа использовали результаты экспериментов по тушению пламени дизельного топлива на стендовой установке, взятые из литературного источника [1].

Воспользуемся типовым подходом к анализу материального баланса при тушении пламени ГЖ огнегасящими веществами [8, 11–15].

Степень покрытия горячей поверхности твердого горючего материала  $\theta$  представлена формулой

$$\theta = S/S_0, \quad (3)$$

где  $S$  — площадь поверхности, покрытая слоем “холодной” жидкости,  $\text{м}^2$ ;

$S_0$  — исходная площадь поверхности горения,  $\text{м}^2$ .

Условия тушения:  $\theta = 1$ ;  $\tau = \tau_t$  (где  $\tau$  — текущее время, с).

Уравнение материального баланса жидкости, поданной на тушение, имеет вид:

$$q \, d\tau = \underbrace{\theta S_0 U_{\text{п}} d\tau}_{\text{[поступление "холодной" жидкости]}} + \underbrace{\rho \bar{h} S_0 d\theta}_{\text{[потери конвекцией и разности плотностей]}} \underbrace{d\theta}_{\text{[накопление]}} \quad (4)$$

где  $q$  — расход “холодной” жидкости,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$U_{\text{п}}$  — удельная скорость потерь жидкости из холодного слоя,  $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;

$\rho$  — средняя плотность нефтепродукта в интервале между температурой нефтепродукта “в слое” и температурой вспышки,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\bar{h}$  — средняя толщина “холодного” слоя, м.

Разделив переменные в (4) и произведя интегрирование в пределах  $\theta = 0$ ;  $\tau = 0$ ;  $\theta = 1$ ;  $\tau = \tau_{\text{т}}$ , получим:

$$\tau_{\text{т}} = -\frac{\rho \bar{h}}{U_{\text{п}}} \ln \left( 1 - \frac{S_0 U_{\text{п}}}{q} \right). \quad (5)$$

Обозначим  $q/S_0 = J$ . При  $SU_{\text{п}} = q$  возникает критическая ситуация, при которой  $\tau_{\text{т}} \rightarrow \infty$ , следовательно  $q/S_0 \equiv J_{\text{кр}}$  (где  $J_{\text{кр}}$  — критическая интенсивность,  $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ). Формулу (5) представим в виде, удобном для анализа результатов экспериментов:

$$\tau_{\text{т}} = -\frac{\rho \bar{h}}{J_{\text{кр}}} \ln \left( 1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (6)$$

Средняя толщина “холодного” слоя  $\bar{h}$  определяется полусуммой его минимальной толщины  $h_0$  и толщины слоя в месте появления “холодного” фронта жидкости  $h_q$ , причем  $h_q = \beta J^n$ :

$$\bar{h} = \frac{h_0 + h_q}{2} = \frac{h_0 + \beta J^n}{2}, \quad (7)$$

где  $\beta$  — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность  $\text{м}\cdot(\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с}))^n$ .

Показатель степени  $n$  в формуле (7) зависит от соотношения расхода воздуха и количества увлекаемой вверх “холодной” жидкости. В работе Блинова – Худякова [1] эта зависимость отражена степенью, которая колеблется от 0,50 до 0,75. Конкретное значение этого параметра будет уточняться по результатам зависимости удельного расхода воздуха от интенсивности подачи “холодной” жидкости. Как и предыдущая константа ( $\bar{h}$ ), минимальная толщина “холодного” слоя жидкости будет уточняться в ходе сопоставления результатов расчета и эксперимента.

Принимая, что  $J = J_{\text{кр}}$  и  $\bar{h} = 2h_0$ , получим зависимость средней толщины слоя пены от интенсивности ее подачи:

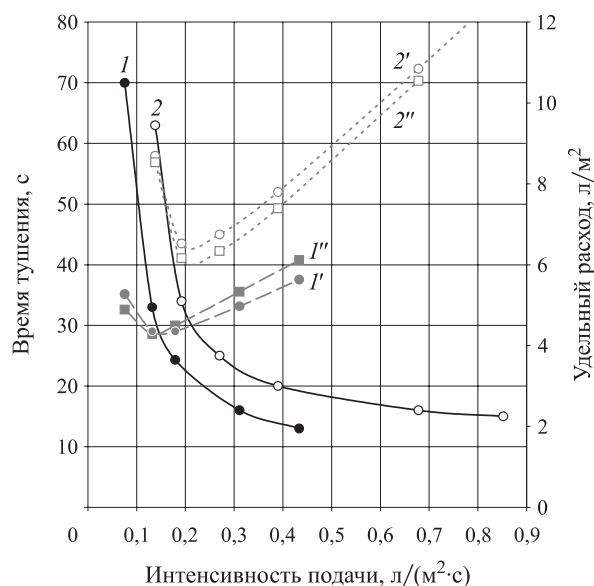
$$\bar{h} = h_0 [1 + (J/J_{\text{кр}})^n]. \quad (8)$$

Перепишем формулу (6) с учетом (8):

$$\tau_{\text{т}} = -\frac{\rho h_0}{J_{\text{кр}}} \left[ 1 + \left( \frac{J}{J_{\text{кр}}} \right)^n \right] \ln \left( 1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (9)$$

Тогда для удельного расхода воздуха  $Q$  с учетом формулы (9) получим:

$$Q = -\frac{\rho h_0 J}{J_{\text{кр}}} \left[ 1 + \left( \frac{J}{J_{\text{кр}}} \right)^n \right] \ln \left( 1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (10)$$



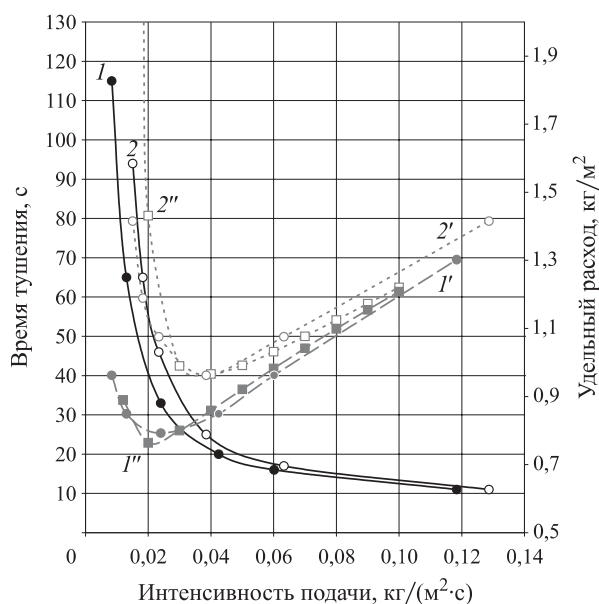
**Рис. 2.** Зависимость времени тушения дизельного топлива (1, 2) и удельного расхода воздуха (1', 1'', 2', 2'') при его подаче в основание резервуара при тушении на полигоне (1, 1', 1'') и на стендовой установке (2, 2', 2''): 1', 2' — эксперимент; 1'', 2'' — расчет (1, 1' — результаты, заимствованные из работ Блинова – Худякова)

Результаты экспериментальных измерений зависимости времени тушения от интенсивности подачи воздуха при тушении пламени дизельного топлива, полученные в полигонных условиях и на стендовой установке, представлены на рис. 2. На этом же рисунке показана зависимость удельного расхода воздуха, рассчитанного по формуле (10).

При сопоставлении результатов расчета с экспериментом была оценена толщина “холодного” слоя на поверхности дизельного топлива. Она составила 2 мм при стендовых испытаниях и 2,5 мм — при полигонных. Показатель степени изменялся в диапазоне от 0,60 до 0,66, соответственно изменялись и оптимальная интенсивность  $J_{\text{опт}}$  и минимальный удельный расход  $Q_{\text{мин}}$ . Данная закономерность подтверждается данными, представленными на рис. 2 и в табл. 1, в которой для сравнения приведены основные параметры процесса тушения дизельного топлива с помощью пены.

**Таблица 1.** Основные параметры процесса тушения дизельного топлива подачей пены на горящую поверхность и в основание резервуара

| Условия проведения эксперимента | Интенсивность подачи, $\text{л}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ |                  | Минимальный удельный расход, $\text{л}/\text{м}^2$ | $h_0$ , м | Показатель степени $n$ |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------|-----------|------------------------|
|                                 | $J_{\text{кр}}$                                            | $J_{\text{опт}}$ |                                                    |           |                        |
| Стендовая установка             | 0,015                                                      | 0,22             | 6,3                                                | 0,0020    | 0,66                   |
| Полигон                         | 0,008                                                      | 0,15             | 4,3                                                | 0,0026    | 0,60                   |



**Рис. 3.** Зависимость времени тушения дизельного топлива (1, 2) пеной низкой кратности, полученной из пенообразователя “Light Water FS 201”, и ее удельного расхода (1', 1'', 2', 2'') при подаче под слой (1, 1', 1'') и сверху (2, 2', 2''): 1', 2' — эксперимент; 1'', 2'' — расчет

Для сравнения в табл. 2 и на рис. 3 представлены результаты тушения пламени дизельного топлива пеной низкой кратности из пенообразователя “Light Water FS 201”. Кроме того, на рис. 3 приведены зависимости, полученные расчетом по формуле (10).

Если принять, что поток воздуха увлекает только десятую часть расходуемого воздуха, то можно признать, что тушение пламени дизельного топлива струей воздуха по эффективности практически не отличается от тушения пеной, полученной из пленкообразующего пенообразователя.

Способ тушения пожаров нефтепродуктов с помощью воздуха не получил дальнейшего развития, поскольку на одном и том же предприятии используются жидкости как с высокой, так и с низкой тем-

**Таблица 2.** Основные параметры процесса тушения дизельного топлива подачей пены, полученной из пенообразователя “Light Water FS 201”, на горящую поверхность и в основание резервуара

| Способ подачи пены | Интенсивность подачи, л/(м²·с) |           | Минимальный удельный расход, кг/м² | $h_0$ , м | Показатель степени $n$ |
|--------------------|--------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------|
|                    | $J_{кр}$                       | $J_{опт}$ |                                    |           |                        |
| Сверху             | 0,010                          | 0,04      | 0,92                               | 0,030     | 0,66                   |
| Под слой           | 0,008                          | 0,02      | 0,72                               | 0,022     | 0,60                   |

пературой вспышки. Тем не менее следует иметь в виду, что при горении резервуара с нефтепродуктом, имеющим высокую температуру вспышки, для предотвращения выброса и тушения пламени можно применять способ подачи воздуха в основание резервуара, например через линию подачи нефтепродукта.

### Выводы

На основе экспериментальных исследований получена количественная взаимосвязь времени тушения и удельного расхода воздуха от интенсивности подачи воздушной струи в основание резервуара с горячей жидкостью, имеющей высокую температуру вспышки.

Разработана модель процесса тушения нефтепродуктов с высокой температурой вспышки, предусматривающая формирование на горячей поверхности тонкого слоя “холодной” жидкости, которая увлекается вверх восходящим потоком воздуха.

Определены минимальный удельный расход и оптимальная интенсивность подачи струи воздуха в основание резервуара при тушении пламени горящего дизельного топлива.

Минимальная толщина “холодного” слоя жидкости, обеспечивающая тушение пламени дизельного топлива в модельном резервуаре, составляет 2,0 мм, а в полигонных условиях — 2,5–3,0 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М. : АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Сучков В. П., Безродный И. Ф., Вязниковцев А. В. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами. — М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1992. — 100 с.
3. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Изд. МКХ РСФСР, 1961. — 143 с.
4. Абдурагимов И. М., Говоров В. И., Макаров Е. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВПТШ МВД РФ, 1988. — 255 с.
5. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
6. Абдурагимов И. М., Андросов А. С., Исаева Л. К., Крылов Е. В. Процессы горения. — М. : ВПТШ МВД РФ, 1984. — 383 с.
7. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1-2. — С. 331–335.

8. Молчанов В. П., Шароварников А. Ф., Воевода С. С., Шароварников С. А., Крымов А. М. Закономерности тушения нефтепродуктов в условиях интенсивного движения жидкости при подаче пены в слой горючего // Научно-техническое обеспечение деятельности государственной пожарной службы : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1996. — С. 129–137.
9. Ammon D. C., Cochran S. R. Underground storage tank corrective action technologies // International Oil Spill Conference Proceedings. — April 1987. — No. 1. — P. 611–616. DOI: 10.7901/2169-3358-1987-1-611.
10. Корольченко А. Я., Шароварников С. А. Тушение смесевых топлив фторсодержащими пенообразователями // Транспорт и хранение нефтепродуктов. — 1996. — № 8-9. — С. 14–17.
11. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 4. — С. 72–76.
12. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.
13. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. — 2013. — Vol. 475-476. — P. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
14. Шароварников С. А., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоинным способом // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 76–80.
15. Корольченко А. Я., Шароварников С. А. Проблемы тушения смесевых топлив подачей пены под слой горючего // Научно-техническое обеспечение деятельности государственной пожарной службы : сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1996. — С. 152–158.

*Материал поступил в редакцию 26 сентября 2015 г.*

**Для цитирования:** Корольченко Д. А. Тушение пламени горючих жидкостей с высокой температурой вспышки методом перемешивания слоев с помощью воздуха и пеной низкой кратности (подслоинным способом) // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 61–67. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.61-67.

English

## SUPPRESSION OF A FLAME OF COMBUSTIBLE LIQUIDS WITH HIGH FLASHPOINT BY THE METHOD OF AGITATING OF LAYERS USING AIR AND LOW EXPANSION FOAM (SUBLAYER METHOD)

**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)

### ABSTRACT

The method of agitating, used for suppression of diesel fuel, was actively developed in the 60-ies of the XX century and generalized in works of Blinov – Khudyakov. There was described suppression of oil fires by supplying of air stream into the bottom of tank. The air is not a fire extinguishing substance, but in this specific case it helps to achieve the burn termination effect. Suppression is provided not with air but due to agitating of cold layers of an oil product with the burning surface layer, actually it is a question of the method of suppression by means of air which creates conditions for agitation. On the basis of experimental researches it was determined the quantitative correlation of suppression time and air specific consumption from supply intensity of the air stream coming into the bottom of tank contained the burning liquid with high flash point. The model of process of combustible liquid flame suppression using the method of agitating of “cold” layers by air stream supplying into the bottom of tank with burning diesel fuel is considered. The suppression process analysis based on consideration

of the material balance of liquid coming into the surface layer and going down into the depth due to convective streams which are formed by rising air flow and due to the difference in densities of “cold” and burning liquid is carried out. The results of experimental measurements of dependence of suppression time on intensity of air supply during diesel fuel flame suppression obtained in terms of proving ground and test bench are presented. Comparison of the fire test results obtained during suppression of diesel fuel flame in model test bench and, earlier received, in terms of proving ground is carried out. It is shown that the process of suppression is connected with formation of a thin liquid layer, from 1.5 to 3 mm, which appear on the surface of a burning hydrocarbon and have a temperature lower or equal to temperature of flash point, which are coming up to the surface with rising burning layer. Comparison of calculation results and experimental data on suppression of a diesel fuel flame in terms of proving ground and on the test bench is carried out. On the basis of conducted researches there were determined the optimal values of intensity and the minimal values of air specific consumption supplying into the bottom of tank for suppression of a diesel fuel flame.

**Keywords:** suppression of flammable liquids; suppression by sublayer method; burning of the tank; model of suppression process using stream of air; low expansion foam.

## REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye gorenije zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
2. Suchkov V. P., Bezrodnyy I. F., Vyaznikovtsev A. V. *Pozhary rezervuarov s neftyu i nefteproduktami* [Fires in tanks with oil and oil products]. Moscow, TsNIITNeftekhim Publ., 1992. 100 p.
3. Petrov I. I., Reutt V. Ch. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Suppression of combustible liquids flame]. Moscow, Ministry of Utilities Sector Publ., 1961. 143 p.
4. Abduragimov I. M., Govorov V. I., Makarov Ye. V. *Fiziko-khimicheskiye osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physico-chemical basis of development and extinguishing of fires]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of Russia, 1988. 255 p.
5. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefti i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
6. Abduragimov I. M., Androsov A. S., Isaeva L. K., Krylov E. V. *Protsessy goreniya* [Combustion processes]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1984. 383 p.
7. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. *Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh* [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.
8. Molchanov V. P., Sharovarnikov A. F., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A., Krymov A. M. *Zakonornosti tusheniya nefteproduktov v usloviyakh intensivnogo dvizheniya zhidkosti pri podache peny v sloj goryuchego* [Regularities of extinguishing of oil products in conditions of intensive movement of liquid during supplying of foam into the fuel layer]. *Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye deyatel'nosti gosudarstvennoy pozharной sluzhby: sb. nauch. tr.* [Scientific and technical ensuring of the state fire service activity. Collected scientific papers]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1996, pp. 129–137.
9. Ammon D. C., Cochran S. R. Underground storage tank corrective action technologies. *International Oil Spill Conference Proceedings*, April 1987, no. 1, pp. 611–616. DOI: 10.7901/2169-3358-1987-1-611.
10. Korolchenko A. Ya., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye smesevykh topliv ftorsoderzhashchimi penoobrazovatelyami* [Extinguishing of mixed fuels by fluorine-containing foaming agents]. *Transport i khraneniye nefteproduktov — Transport and Storage of Oil*, 1996, no. 8-9, pp. 14–17.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev Ye. N. *Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti geptana* [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognnetushashchimi veshchestvami* [Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88.

13. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 475-476, pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
14. Sharovarnikov S. A., Korolchenko D. A., Lyapin A. V. Tusheniye mnogokomponentnykh smesevykh topliv ftorsinteticheskimi penoobrazovatelyami podslonnyim sposobom [Extinguishing of the multi-component composite fuels by aqueous film forming foam by sublayer way]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 76–80.
15. Korolchenko A. Ya., Sharovarnikov S. A. Problemy tusheniya smesevykh topliv podachey peny pod sloy goryuchego [Problems of extinguishing of mixed fuels by foam supplying under the layer of fuel]. *Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye deyatel'nosti gosudarstvennoy pozhar'noy sluzhby: sb. nauch. tr.* [Scientific and technical ensuring of the state fire service activity. Collected scientific papers]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1996, pp. 152–158.

**For citation:** Korolchenko D. A. Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey s vysokoy temperaturoy vspyshki metodom peremeshivaniya sloyev s pomoshchyu vozdukhа i penoy nizkoy kratnosti (podslonnyim sposobom) [Suppression of a flame of combustible liquids with high flashpoint by the method of agitating of layers using air and low expansion foam (sublayer method)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 61–67. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.61-67.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

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

**А. КАТТГЕ**, заместитель начальника Управления пожарной охраны г. Гамбурга (Am Feenteich 50, г. Гамбург, 22085, Германия; e-mail: andreas.kattge@feuerwehr.hamburg.de)

**Е. Н. ДЕГАЕВ**, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA\_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОДАЧИ ПЕНЫ НА ОПТИМАЛЬНУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОДАЧИ И МИНИМАЛЬНЫЙ УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД РАСТВОРА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрены актуальные вопросы тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках подачи пены на горящую поверхность горючего с большого расстояния. Приведены результаты экспериментальных исследований, показывающие снижение огнетушащей эффективности углеводородных пенообразователей при увеличении высоты подачи пены. Выявлено, что пенообразователи с фторированными стабилизаторами сохраняют огнетушащую эффективность независимо от высоты и дальности подачи пены. Показано, что полученные результаты подтверждают мнение многих специалистов о невозможности замены фторированных пенообразователей углеводородными составами.

**Ключевые слова:** огнетушащая эффективность; тушение пламени горючих жидкостей; оптимальная интенсивность; пленкообразующий пенообразователь; коэффициент растекания; поверхностная активность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.01.68-72

Применение пены низкой кратности для тушения пожаров аварийных разливов и осложненных пожаров нефтепродуктов обусловлено возможностью подачи пены с большого расстояния. Зачастую сильный тепловой поток от факела пламени не позволяет приблизиться к месту пожара для подачи в очаг пены средней и высокой кратности. В то же время применение пенообразователей, содержащих фторированные стабилизаторы, в том числе фторированных пленкообразующих, ограничено из-за экологических требований. Их предусматривается заменить углеводородными составами, которые в меньшей степени загрязняют окружающую среду, но уступают им по огнетушащей эффективности.

Цель данной работы — на модели резервуара провести эксперименты по тушению пламени нефтепродуктов при подаче пены с различной высоты (расстояние от пенослива до поверхности горячей жидкости). Марка пенообразователей дана в обобщенном виде, чтобы избежать упреков со стороны поставщиков пенообразователей. В экспериментах использовали пенообразователь фторсодержащий пленкообразующий и пенообразователь углеводородный. Пена, полученная из рабочих растворов обоих пенообразователей, соответствовала кратности  $7,0 \pm 0,5$ .

Испытания проводили на экспериментальной установке, описанной в работах [1–4]. Установка аналогична той, которая используется для сравнительной оценки огнетушащей эффективности пенообразователей при сертификации по ГОСТ Р 53280.2–2010. При испытаниях определяли зависимость удельного расхода пенообразователя и времени тушения от интенсивности подачи пены. Расстояние от сливного патрубка до горячей поверхности углеводорода варьировали по вертикали от 5 до 15 см. Пену подавали непосредственно на горящую поверхность. В качестве горючей жидкости использовали *n*-гептан, что позволяло получать воспроизводимые результаты.

Для подтверждения природы пенообразователя предварительно проводили измерение поверхностного и межфазного натяжения рабочих растворов на границе с гептаном. Для измерения поверхностного натяжения растворов пенообразователей использовали метод отрыва кольца. Данные испытания подтвердили природу поверхностно-активной основы пенообразователей. Для пленкообразующего пенообразователя коэффициент растекания по гептану должен быть больше 0, а поверхностное натяжение  $17 \text{ мН/м}$ , т. е. ниже, чем у гептана ( $20,3 \text{ мН/м}$ ).

Растворы углеводородных ПАВ имеют поверхностное натяжение порядка 30 мН/м, что заметно выше по сравнению с гептаном [5–8].

Коэффициент растекания водного раствора по гептану  $K_{10}$  и гептана по раствору  $K_{01}$  рассчитывали по соотношениям [1, 2]:

$$K_{10} = \sigma_0 - (\sigma_{10} + \sigma_1); \quad (1)$$

$$K_{01} = \sigma_1 - (\sigma_{10} + \sigma_0), \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  — поверхностное натяжение гептана, мН/м;  
 $\sigma_{10}$  — межфазное поверхностное натяжение на границе *раствор – гептан*, мН/м;  
 $\sigma_1$  — поверхностное натяжение водного раствора на границе с воздухом, мН/м.

Результаты измерений поверхностной и межфазной активности для растворов обоих пенообразователей представлены на рис. 1 и 2.

Пленкообразующий фторсодержащий пенообразователь при концентрации водного раствора 1,0 % масс. и более имеет положительный коэффициент растекания водного раствора по гептану, что позволяет рабочим растворам самопроизвольно формировать водную пленку на поверхности гептана.

Коэффициент растекания водного раствора углеводородного пенообразователя по гептану имеет отрицательное значение. Это значит, что эти растворы не только не способны растекаться по гептану, но и преимущественно смачиваются гептаном, т. е. гептан растекается по поверхности пенных пленок. Коэффициент растекания гептана по водному раствору пенных пленок положителен во всей области концентраций углеводородного пенообразователя в водном растворе. При подаче на горящую поверхность нефтепродукта пена в результате падения углубляется в горючую жидкость, огнетушащая эффективность углеводородного пенообразователя при этом снижается.

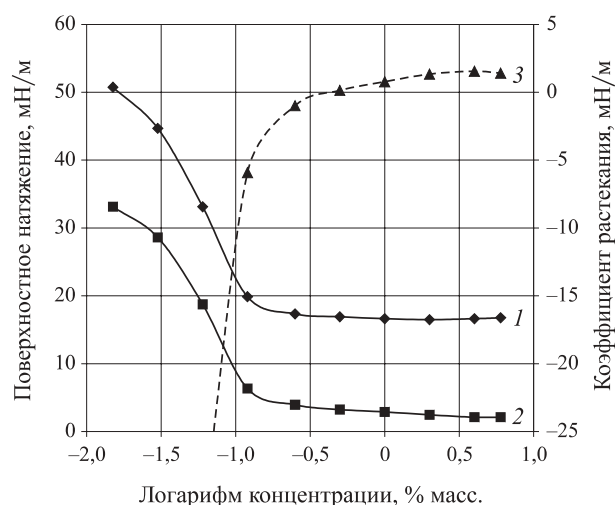


Рис. 1. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициента растекания раствора по гептану (3) для пленкообразующего пенообразователя

Результаты экспериментальных измерений удельного расхода и времени тушения пламени гептана для углеводородного пенообразователя представлены на рис. 3, а для пены, полученной из пленкообразующего пенообразователя, — на рис. 4.

В экспериментах установлено, что огнетушащая эффективность пен из углеводородных пенообразователей сильно снижается по мере увеличения высоты подачи (падения) пены, а фторированных пен — наоборот, увеличивается.

При этом минимальный удельный расход пены из углеводородного пенообразователя увеличивается с 2,2 до 3,7 кг/м<sup>2</sup>, а оптимальная интенсивность возрастает с 0,065 до 0,120 кг/(м<sup>2</sup>·с).

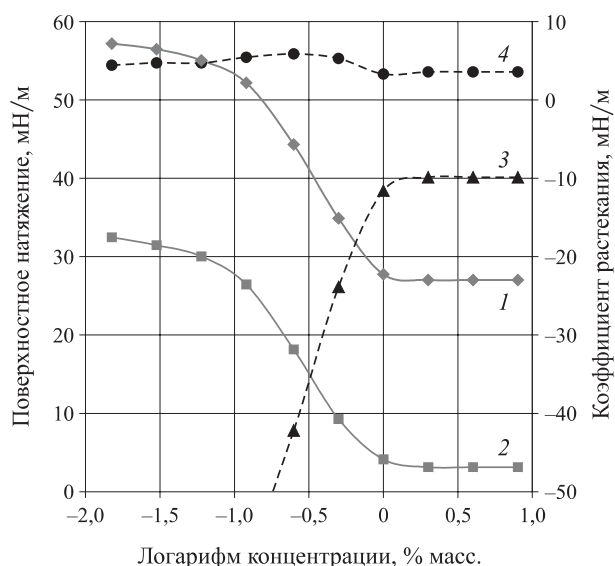


Рис. 2. Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициента растекания раствора по гептану (3) и гептана по раствору (4) для углеводородного пенообразователя

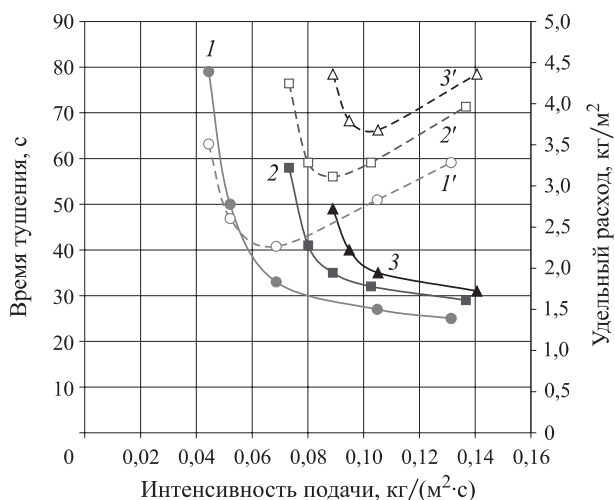
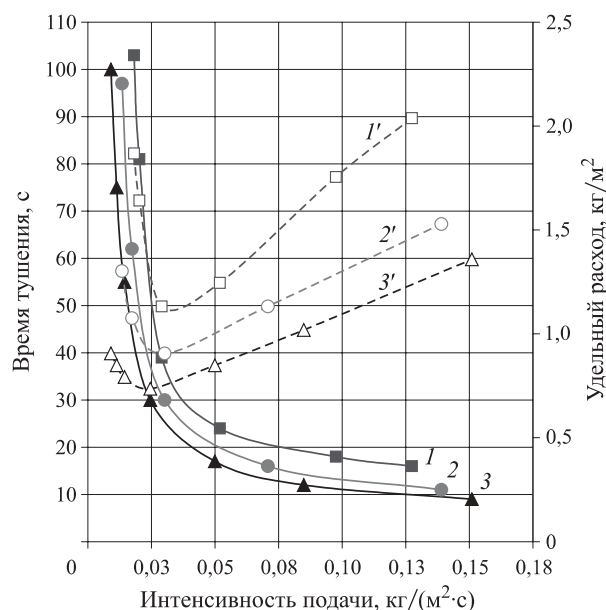
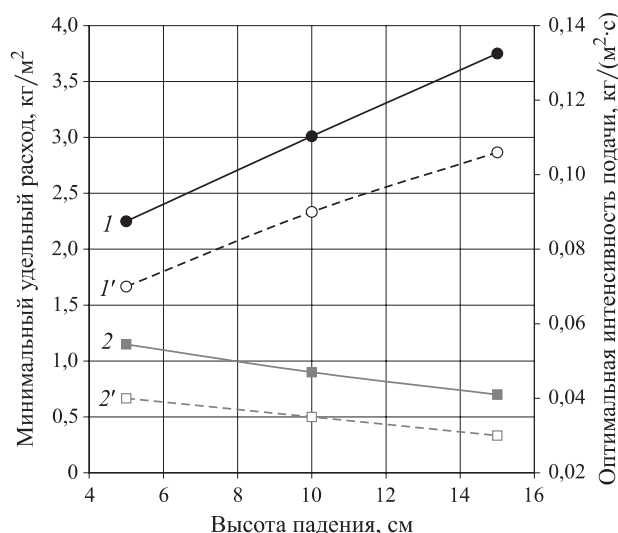


Рис. 3. Зависимость времени тушения пламени гептана (1–3) и удельного расхода углеводородного пенообразователя (1'–3') от интенсивности подачи пены и высоты ее падения: 1, 1' — 5 см; 2, 2' — 10 см; 3, 3' — 15 см



**Рис. 4.** Зависимость времени тушения пламени гептана (1–3) и удельного расхода пенкообразующего пенообразователя (1'–3') от интенсивности подачи пены и высоты ее падения: 1, 1' — 5 см; 2, 2' — 10 см; 3, 3' — 15 см



**Рис. 5.** Зависимость минимального удельного расхода (1, 2) и оптимальной интенсивности подачи пены (1', 2'), полученной из углеводородного (1, 1') и пенкообразующего (2, 2') пенообразователей, от высоты падения пены при тушении пламени гептана

По мере увеличения высоты падения пены из фторсодержащего пенообразователя минималь-

ный удельный расход снижается с 1,2 до 0,7 кг/м², а оптимальная интенсивность подачи — с 0,04 до 0,03 кг/(м²·с). Иллюстрация влияния высоты падения пены на основные параметры процесса тушения представлена на рис. 5.

При испытаниях были получены ожидаемые результаты, что объясняется поверхностной активностью этих пенообразователей (см. рис. 1 и 2). Водные растворы фторированного пенообразователя имеют положительное значение коэффициента растекания по гептану, начиная с 1 %-ной концентрации, в то время как водные растворы углеводородного пенообразователя имеют положительные значения коэффициента растекания гептана по раствору по всей области.

При контакте пены из углеводородного пенообразователя с гептаном углеводород смачивает пенные пленки и растекается по ним, что приводит к контактному разрушению пенной структуры. Пена из фторированного пенообразователя при контакте с гептаном самопроизвольно формирует водную пленку на поверхности углеводорода.

Чем больше высота падения пены, тем сильнее она ударяется о поверхность гептана, что приводит к ускоренному выделению раствора из пенных пленок и способствует быстрому растеканию пены. Для углеводородных пен удар о поверхность ведет к частичному погружению пены в гептан и ее загрязнению горючим. Кроме того, из-за положительного коэффициента растекания горючего по водному раствору движению пены противодействует поверхностное давление, направленное навстречу растекающейся пене.

Результаты измерений поверхностной активности водных растворов пенообразователей показывают, что пена из углеводородного пенообразователя не может использоваться для подложной подачи в горящий гептан, поскольку гептан начнет растекаться по пенным пленкам, разрушая пену и смешиваясь с ней в процессе подъема к поверхности.

Полученные результаты подтверждают мнение специалистов о низкой огнетушащей эффективности пены, полученной из углеводородных пенообразователей, при подаче ее в виде компактных струй на большое расстояние [9–12].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Воевода С. С., Молчанов В. П. Современные средства и способы тушения пожаров нефтепродуктов. — М.: Калан, 2000. — 420 с.
2. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 4. — С. 72–76.
3. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.

4. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
5. Sharovarnikov A. F., Punchik G. I. Experimental determination of the strength of foams with high foam densities // Colloid Journal. — 1982. — Vol. 44, No. 1. — P. 180–182.
6. Bikerman J. J. Foams. — New York : Springer, 1973. DOI: 10.1007/978-3-642-86734-7.
7. Oil Tank Fire Extinguishing // Fire. — October, 1960. — No. 109. — P. 1–43.
8. Jho C. Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro- and hydrocarbon surfactants on liquid hydrocarbon substrates // Journal of Colloid and Interface Science. — 1987. — Vol. 117, No. 1. — P. 139–148. DOI: 10.1016/0021-9797(87)90176-7.
9. Борковская В. Г., Агапов С. В. Стандарты и требования пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 7–14.
10. Борковская В. Г. Новые требования профессиональных рисков в пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 9–15.
11. Корольченко Д. А., Дегаев Е. Н., Шароварников А. Ф. Горение гептана в модельном резервуаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 2. — С. 67–70.
12. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Классификация пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания рабочего раствора по углеводороду // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80.

*Материал поступил в редакцию 30 ноября 2015 г.*

**Для цитирования:** Kattge A., Дегаев Е. Н. Влияние высоты подачи пены на оптимальную интенсивность подачи и минимальный удельный расход раствора пенообразователя // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 68–72. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.68-72.

English

## INFLUENCE OF TOTAL HEAD OF FOAM ON OPTIMUM INTENSITY AND MINIMUM PARTICULAR EXPENSE SOLUTION SIZE OF FOAMER

**KATTGE A. (FEUERWEHR)**, Deputy Chief of Fire Department  
(Am Feenteich 50, Hamburg, 22085, Federal Republic of Germany;  
e-mail address: andreas.kattge@feuerwehr.hamburg.de)

**DEGAEV E. N.**, Postgraduate Student 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

The issues addressed included questions and prospects for use of the hydrocarbonic and fluorinated film-forming foamers for fire suppression of emergency passages and the fires of oil products in tanks at supply of foam from long distance. The results of the experiment show that hydrocarbonic foams with increase in falling height cause strong decrease in efficiency of fire suppression. The blow of foam about a surface conducts to partial immersions in oil product that leads to foam pollution by fuel. It is shown that using hydrocarbonic foamers with growth of total head from 5 to 15 cm a particular expense size and optimum intensity 2 times increase. While the fluorinated foams show increase inefficiency of fire suppression by increase in total head which is explained by superficial activity — aqueous solutions of film-forming foamers have positive value of spreading coefficient. The higher the drainage is, the stronger the foam and hydrocarbon surface hit that leads to the accelerated release of solution from foamy films more strongly and promotes fast foam spreading. Experiments confirm expert's opinion about low efficiency of the foams, received their hydrocarbonic foamers when giving with compact streams on long distance. Therefore replacing of fluorinated film-forming foamers with hydrocarbonic ones, which decay after application well, is premature.

**Keywords:** fire extinguishing efficiency; suppression of a flame of combustible liquids; optimum intensity; film-forming foamer; spreading coefficient; superficial activity.

## REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Voevoda S. S., Molchanov V. P. *Sovremennyye sredstva i sposoby tusheniya pozharov nefteproduktov* [Modern means and methods for extinguishing oil fires]. Moscow, Kalan Publ., 2000. 420 p.
2. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti heptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
3. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspylennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
4. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Vliyaniye dispersnosti kapel vody na effektivnost tusheniya pozharov goryuchey zhidkosti [Impact of dispersion of water drops on the efficiency of fire extinguishing combustible liquid]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
5. Sharovarnikov A. F., Punchik G. I. Experimental determination of the strength of foams with high foam densities. *Colloid Journal*, 1982, vol. 44, no. 1, pp. 180–182.
6. Bikerman J. J. *Foams*. New York, Springer, 1973. DOI: 10.1007/978-3-642-86734-7.
7. Oil Tank Fire Extinguishing. *Fire*, October, 1960, no. 109, pp. 1–43.
8. Jho C. Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro- and hydrocarbon surfactants on liquid hydrocarbon substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1987, vol. 117, no. 1, pp. 139–148. DOI: 10.1016/0021-9797(87)90176-7.
9. Borkovskaya V. G., Agapov S. V. Standarty i trebovaniya pozharnoy bezopasnosti [Standards and requirements of fire safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 7–14.
10. Borkovskaya V. G. Novyye trebovaniya professionalnykh riskov v pozharnoy bezopasnosti [New requirements professional risks in fire safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 9–15.
11. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Goreniye heptana v modelnom rezervuare [Combustion of heptane in a model tank]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 67–70.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Klassifikatsiya penoobrazovateley dlya tusheniya pozharov nefteproduktov po strukture koeffitsienta rastekaniya rabocheho rastvora po uglevododorodu [Classification of foaming agents for extinguishing of fires of oil products taking into account the structure of spreading coefficient of working solution over hydrocarbon]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80.

**For citation:** Kattge A. (Feuerwehr), Degaev E. N. Vliyaniye vysoty podachi peny na optimalnuyu intensivnost podachi i minimalnyy udelnyy raskhod rastvora penoobrazovatelya [Influence of total head of foam on optimum intensity and minimum particular expense solution size of foamer]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 68–72. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.68-72.

УДК 614.841.33

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АУДИТА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРАХОВАНИИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

© **Н. В. АФАНАСЬЕВ**, начальник Управления по развитию саморегулирования МРОО “Коллегия независимых экспертов” (Россия, 109428, г. Москва, Рязанский просп., 10/2; e-mail: mrooknek@mail.ru)

© **Д. В. ВАГАНОВА**, руководитель направления корпоративных коммуникаций Национального союза организаций в области обеспечения пожарной безопасности (Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4; e-mail: nsopb@nsopb.ru)

## Коротко о страховании от последствий пожаров

Весной 2015 г. в Общественной палате Российской Федерации прошло совещание, посвященное разработке мер по обеспечению пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей. Бизнес-сообществом в лице представителей профильных объединений было предложено разработать и принять федеральный закон об обязательном страховании объектов защиты с массовым пребыванием людей.

Наряду с разработкой законопроекта о добровольном страховании от ущерба в случае пожара в правительстве РФ вновь поднят вопрос о принятии федерального закона, предусматривающего обязательное страхование ответственности каждого юридического лица перед третьими лицами в результате возможного возникновения пожара. Деятельность организаций, не имеющих страхового полиса, должна быть прекращена. Таким образом, государство снимает с себя ответственность за компенсацию ущерба пострадавшим в результате пожара, перекладывая ее на плечи страховых компаний. Последние, оценивая свои риски при страховании юридического лица, будут требовать проведения на объекте страхования независимой оценки пожарного риска (НОР) с выдачей заключения о противопожарном состоянии объекта защиты. От данного заключения будет зависеть страховой коэффициент.

В развитие этих предложений 30 сентября 2015 г. на базе Многофункционального центра комплексной безопасности МФЦ-112 было проведено межотраслевое совещание руководящего состава ряда страховых компаний с представителями организаций, осуществляющих независимую оценку пожарного риска.

Организаторами совещания выступили журнал “Современные страховые технологии”, СРО НП “НОЭС” и Ассоциация “ПожАльянс” при поддержке Федеральной палаты пожарно-спасательной отрасли и обеспечения безопасности.

В рамках совещания обсуждались вопросы использования результатов независимой оценки пожарного риска страховыми компаниями и привлечение специалистов по независимой оценке пожарного риска к предстраховой и предзалоговой экспертизам.

## Об опыте сотрудничества

В 2010 г. Президентом РФ был подписан Федеральный закон № 225-ФЗ “Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте”.

Пожарное экспертное сообщество приняло этот федеральный закон с воодушевлением и посчитало, что у нас появились новые партнеры по бизнесу, что мы нужны друг другу и что это партнерство может быть крайне полезно и экспертным организациям, и страховому сообществу. Однако делового тандема так и не получилось.

Не разобравшись в сути процессов, все свели к вопросу: кто кому должен поставлять клиентуру? Желающих застраховаться на тот момент оказалось не так много. У крупных корпораций уже были свои страховые компании, и перед ними не стояла задача досконально разбираться с уровнем потенциальных рисков на опасных производственных объектах и, как следствие, объективно просчитывать средства, которые необходимо тратить на страховые премии. Иначе говоря, бизнес опять вывернулся, а страховым компаниям, не входящим в деловой круг владельцев объектов повышенной опасности, достались лишь крохи. Из конкурентной боязни потерять даже это малое, страховые компании тоже не склонны объективно оценивать ситуацию.

Объективно нужно отметить, что регулирование государством сумм страховых премий и конкуренция на страховом рынке не позволяют страховым компаниям использовать услуги экспертного сообщества, что приводит, в свою очередь, к снижению уровня защищенности объекта.

По экспертным оценкам только 10 % объектов подвергаются предстраховой экспертизе (с выездом на объект) при обязательном страховании. Очевидно, рынок ждет, когда “гром грянет...”.

Все сказанное выше относится к обязательному страхованию, но и в области добровольного страхования все пилотные проекты по совместной работе страховых компаний и пожарного экспертного сообщества, проводившиеся в 2013–2014 гг. в городах Волгоград, Ростов-на-Дону, Нижний Новгород и др., провалились. Здесь, кроме вопроса, кто кому должен поставлять клиентуру, мы встретились с неумением, а иногда и с нежеланием работать на рынке добровольного страхования.

Напомним, что независимая оценка пожарного риска — это альтернатива проверке объекта пожарной инспекцией, только без наложения штрафов и приостановки деятельности. Кроме того, она позволяет минимизировать финансовые риски с учетом штрафов, налагаемых в соответствии с Кодексом Российской Федерации об административных правонарушениях, а также рационализировать и определять основные направления инвестирования. Проще говоря, куда, когда и сколько денег вкладывать в пожарную безопасность.

Таким образом, страховым компаниям использовать результаты деятельности пожарного экспертного сообщества выгодно, так как они дают представление о реальной картине на объекте (не в 10 % случаев), а также освобождают собственника от проверок ГПН и, соответственно, от возможных штрафов. Однако сотрудничество пока не налажено.

### **О переходе к риск-ориентированным моделям надзора**

В 2015 г. в России обозначилась явно выраженная тенденция к кардинальному изменению принципов ведения надзорной деятельности. Их основное векторное направление — переход на риск-ориентированную модель осуществления надзора с передачей части функций экспертным организациям, в том числе в вопросах участия в процессах технического регулирования, стандартизации и оценки соответствия. Другими словами, выполняя указы Президента РФ, надзорные органы пытаются перестроить принципы работы “системы” и дать возможность выбора — либо оставаться под надзором государства, либо довериться экспертам. МЧС России идет по этому пути уже с 2008 г., но пока безрезультатно.

Хотелось бы отойти от неудачного определения “независимая оценка пожарного риска” и перейти к более правильному — “пожарный аудит”, тем более что в последних документах МЧС России используется именно этот термин. Фактически пожарный

аудит во всем мире является альтернативой государственному пожарному надзору. Как это организовано?

В общем случае любой собственник должен один раз в два года заполнять декларацию по безопасности на свой объект, воспользовавшись одним из трех вариантов:

1. Собственник заполняет ее сам; в этом случае к нему приходит на проверку муниципальный инспектор, который в случае обнаружения несоответствия декларации или объекта установленным требованиям может его оштрафовать.
2. Собственник приглашает для подготовки декларации аудитора, который составляет ее и подписывает только тогда, когда все недостатки и несоответствия устранены. Муниципальный инспектор в таком случае проверку объекта не проводит.
3. Собственник, решив застраховать объект, обращается в страховую компанию, которая присылает аудитора на проверку. В зависимости от количества выявленных несоответствий собственнику назначается определенная сумма страховой премии. После заключения договора страхования муниципальный инспектор также не проверяет объект.

Сегодня в нашей стране реализованы первые два варианта. Однако декларация заполняется собственником один раз (нет определенной периодичности) и не имеет реальных юридических последствий. Отсутствуют методики и формализованные типовые документы для второго и третьего вариантов. Кроме того, второй вариант не закреплён на законодательном уровне (закрепление на уровне приказов МЧС России ставит вопрос о законности его применения). Третий вариант не предусмотрен законодательством вообще.

### **О развитии сотрудничества**

Считаем необходимым на законодательном уровне ввести в действие второй и третий варианты. Что для этого нами сделано? На базе Национального союза организаций в области обеспечения пожарной безопасности (НСОПБ) создан ТК 001 “Производственные услуги”, в рамках которого в 2016 г. должны пройти согласования и быть переданы в Росстандарт три проекта ГОСТов серии Р (методики и формализованные типовые документы), посвященных пожарному аудиту:

- а) “Производственные услуги. Оценка соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности. Общие требования по проведению независимой оценки пожарного риска (аудита пожарной безопасности)”;

- б) “Производственные услуги. Оценка соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности. Независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности). Типовая форма заключения о независимой оценке пожарного риска. Общие требования”;
- в) “Производственные услуги. Оценка соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности. Требования к учету заключений по проведению независимой оценки пожарного риска (аудита пожарной безопасности), регистрации и ведению реестра”.

При этом целесообразно привлечь специалистов страховых компаний к активному участию в их разработке, так как им предстоит применять их на практике.

Необходимо также отметить, что пожарному экспертному сообществу удалось убедить руководство МЧС России в необходимости принятия третьего варианта. В конце сентября первый заместитель

министра МЧС России Сергей Шляков на заседании комиссии по ликвидации излишних административных ограничений, затрагивающих интересы малого и среднего предпринимательства, сказал: “Почему за границей многие показатели лучше? Потому что у них практически все застраховано. Если мы дадим нашим страховщикам такие возможности, у нас исчезнет большинство проблем с безопасностью. Но, к сожалению, институт страхования в России развит недостаточно”.

Страхование рисков и повышение уровня культуры безопасности позволит убрать административные барьеры, снизить нагрузку на малый и средний бизнес и навести порядок в сфере обеспечения безопасности. Таким образом, консолидированному страховому сообществу необходимо поддержать всеми доступными способами инициативы МЧС России и пожарного экспертного сообщества. Давайте строить бизнес, помогая друг другу!

*Материал поступил в редакцию 7 октября 2015 г.*



## Издательство «ПОЖНАУКА»

**Представляет книгу**



**Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко**

### **ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.**

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

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

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

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

**ВОПРОС:**

На нашем объекте в ближайшее время планируется проверка органами Государственного пожарного надзора (ГПН).

Как и на других объектах, у нас есть ряд отдельных недоработок, часть из которых устранить не получится. Например, ширина марша лестничной клетки из подвала, которая является путем эвакуации, не соответствует требованиям СП 1.13130.2009.

Для нашего объекта был выполнен расчет рисков на этапе строительства, в котором данная лестничная клетка была также учтена.

Поясните, будет ли считаться нарушением при наличии такого расчета несоответствие ширины лестничного марша требуемой по СП 1.13130.2009?

**ОТВЕТ:**

При ответе на вопрос необходимо начать с того, что инспектор ГПН в процессе проверки руководствуется в первую очередь требованиями ФЗ 123 [1] и постановлением Правительства РФ № 390 “О противопожарном режиме в Российской Федерации” [2]. Если на объекте отсутствует расчет рисков, то инспектор дополнительно проверяет выполнение требований пожарной безопасности по сводам правил и перечню нормативных документов, применяемых на добровольной основе [3].

Согласно п. 6 ФЗ 123 [1] объект защиты соответствует требованиям пожарной безопасности, если:

1) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом № 184 “О техническом регулировании” [4], и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных ФЗ 123 [1];

2) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с [4], и нормативными документами по пожарной безопасности, входящими в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ 123 [1].

Из этого следует, что в случае отсутствия в ФЗ 123 [1] конкретных требований к ширине лестничных маршей и выполненного расчета пожарного риска объект будет соответствовать требованиям пожарной безопасности по данному пункту.

Если в расчете рисков учитывалась ширина лестничного марша, отличная от реальной, то данный расчет

не будет соответствовать действительности, даже если фактическая ширина марша будет больше, чем в расчетных данных.

В этом случае инспектор ГПН должен будет оценивать ширину лестничного марша по СП 1.13130.2009 [5] в зависимости от класса здания, числа эвакуирующихся и т. д.

При несоответствии ширины лестничного марша требованиям СП [2] инспектор отметит это как нарушение. Для его устранения потребуется обратиться в организацию, осуществлявшую расчет рисков, с просьбой внести корректировку в исходные данные. Обычно такие исправления выполняются достаточно быстро при условии, что в конечном счете необходимое время эвакуации будет меньше расчетного. Таким образом, устранение этого нарушения укладывается во временные рамки инспекторской проверки, регламентируемые ст. 13 ФЗ 294 [6].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 23.06.2014) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. О противопожарном режиме в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 // Собр. законодательства РФ. — 2012. — № 19, ст. 2415.
3. Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : приказ Росстандарта от 16.04.2014 № 474 // Вестник технического регулирования. — 2014. — № 5.
4. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ // Российская газета. — 2002. — № 245.
5. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
6. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : Федер. закон от 26.12.2008 № 294-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 52 (ч. I), ст. 6249.

*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.

# 25–27 мая

## Красноярск



# 2016



При поддержке Национального  
антитеррористического комитета

## **XII Всероссийский 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

*Более 8000 посетителей со всей России!  
Масштабная выставка спецтехники  
Деловая программа с участием федеральных властей*



**сибирь**  
международный  
выставочно-деловой центр  
имени Карена Мурадяна

Организаторы:



РЕКЛАМА

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

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” 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 непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

**2.3.** Информация об авторах.

**2.3.1.** Имена, отчества и фамилии всех авторов. 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 5–7 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 250–300 слов.

Рекомендуется 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 авторское 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 должен быть ясным, лаконичным и структурированным. Редакция рекомендует деление текста на традици-

онные для научной статьи разделы: введение (актуальность, состояние вопроса), цели и задачи, материалы и методы, результаты и их обсуждение, заключение (выводы). Редакция допускает и иную структуру соответственно специфике конкретной статьи при условии четкого наименования разделов.

Текст должен быть набран через 1,5 интервала и предоставляться 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. Пристайные 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 науч-

ного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 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.dissercat.com>.

**2.9. References** (пристайные 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](http://www.fire-smi.ru)).

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

**3.** 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.

ISSN 0869-7493

**Открыта  
подписка  
на журнал**

# ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



По вопросам подписки  
просьба обращаться  
по тел.: (495) 228-09-03,  
8-909-940-01-85 или  
по e-mail [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru)

При оформлении подписки  
через редакцию —  
электронная версия  
журнала в подарок!

- Стоимость подписки  
на 1-е полугодие 2016 г.  
(6 номеров) — 5700 руб.
- Стоимость годовой подписки  
(12 номеров) — 11400 руб.

## ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- через агентство “РОСПЕЧАТЬ”,  
индекс 81913 (полугодовой), 70753 (годовой);
- через агентство “АПР”,  
индекс 83647 (полугодовой), 90121 (годовой)  
(в любом почтовом отделении в каталоге  
“Газеты и журналы”);
- через подписные агентства:  
ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”.



# ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный  
строительный университет

Научно-  
исследовательские  
и сертификационные  
испытания:

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

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

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

[www.ikbs-mgsu.ru](http://www.ikbs-mgsu.ru)