



## НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО, ПРОВЕРЕННЫЕ ВРЕМЕНЕМ

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



огнезащита  
краски

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

www.tphm.ru  
www.texon.ru

ПРОДАЖА Б/У ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОКРАСКИ Тел. +7 (495) 956-2150  
АРЕНДА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА КОТОВСКОМ ЛКЗ Тел. +7 (495) 956-2150

22-я Международная выставка  
технических средств охраны  
и оборудования для обеспечения  
безопасности и противопожарной защиты



Москва

14–17  
марта  
2016

ЦВК «Экспоцентр»



Видеонаблюдение



Контроль  
доступа



Охрана  
периметра



Противопожарная  
защита



Сигнализация  
и оповещение



Автоматизация  
зданий



Организатор  
Группа компаний ITE  
+7 (495) 935-73-50  
security@ite-expo.ru

[securika-moscow.ru](http://securika-moscow.ru)





**Fire Stop  
MOSCOW**

Первый  
Всероссийский  
конгресс и выставка  
по пожаробезопасности

2015

WWW.FIRE-STOP.MOSCOW

**8-9 декабря**  
**Москва**  
**КВЦ Сокольники**

ODF Events

**ТЕМЫ КОНГРЕССА:**

Анализ рынка пожарозащитной индустрии. Итоги года и прогнозы на 2016 г. Нормирование. Обсуждение новых норм с разработчиками. Ожидаемые нововведения.

Пассивная пожарозащита. Пожарная опасность строительных материалов и систем (основных конструкций (стекло, бетон, сталь), фасадов, изоляционных систем, путей эвакуации и т.д.).

Пожарозащитные покрытия и пропитки. Пожарный контроль и независимый аудит.

Рынок независимого аудита.

IT в пожарозащитной индустрии.

Моделирование пожаров. Внедрение BIM технологий.

Активная пожарозащита. Пожарозащита высотных, многофункциональных зданий.

Газовое, газопорошковое, водяное пожаротушение. Автоматика и ее обслуживание.

ОГОНЬ ПОД КОНТРОЛЕМ



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

МАКАРКИН С. В., ВОРОБЬЕВА Е. П.,  
СИНЯКОВА Ю. В., ЛАТЫПОВ С. Р.  
Создание и внедрение системы менеджмента качества  
в деятельность органов местного самоуправления  
по обеспечению пожарной безопасности

6

MAKARKIN S. V., VOROBYEVA E. P.,  
SINYAKOVA Yu. V., LATYPOV S. R.  
Creation and implementation of a quality management  
system in the activities of local governments  
to ensure fire safety

## ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

## COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

АНТОНОВ Д. В., ВОЛКОВ Р. С., ЗАБЕЛИН М. В.,  
ПISKUNOV М. В., СТРИЖАК П. А.  
Экспериментальное определение времен подавления  
горения модельного очага лесного пожара  
тонкодисперсным капельным потоком

14

ANTONOV D. V., VOLKOV R. S., ZABELIN M. V.,  
PISKUNOV M. V., STRIZHAK P. A.  
Experimental determination of the suppression  
burning model forest fires  
of fine droplet flow

## ОГНЕЗАЩИТА

## FIRE RETARDANCE

НАТЕЙКИНА Л. И., ПИМЕНОВА В. П.  
Огнезащитные материалы НЕОФЛЭЙМ® (NEOFLAME®)

24

NATEYKINA L. I., PIMENOVA V. P.  
Fire retardant materials NEOFLAME®

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

ГОЛОВАНОВ В. И., ПАВЛОВ В. В., ПЕХОТИКОВ А. В.  
Экспериментальные и аналитические исследования  
несущей способности большепролетных  
железобетонных балок при огневом воздействии

31

GOLOVANOV V. I., PAVLOV V. V., PEKHOTIKOV A. V.  
Experimental and analytical studies of the bearing  
capacity long-span reinforced concrete  
during fire exposure

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

## FIRE MODELING

МУРЗИНОВ В. Л.  
Метод построения температурного поля  
в объеме помещения  
  
КАРЬКИН И. Н., СУБАЧЕВ С. В., СУБАЧЕВА А. А.  
Алгоритм идентификации помещений в FDS-проектах  
для моделирования пожара интегральным методом

39

45

MURZINOV V. L.  
Method of construction of the temperature field  
in volume of the premise

KARKIN I. N., SUBACHEV S. V., SUBACHEVA A. A.  
Algorithm for the identification of rooms in FDS-projects  
for fire modeling by the integral method

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

## FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ЗАХМАТОВ В. Д., СИЛЬНИКОВ М. В., ЧЕРНЫШОВ М. В.  
Современные проблемы лесных пожаров  
в Чернобыльской зоне

55

ZAKHMATOV V. D., SILNIKOV M. V., CHERNYSHOV M. V.  
Problem of Chernobyl forest fires  
nowtime

## ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

## FIRE ENGINEERING

КРУДЫШЕВ В. В., ЛАЗАРЕВ И. С.,  
ФИЛИППОВ А. В., ТЕРЕНТЬЕВ В. В.  
Защита водопенных коммуникаций  
пожарного насоса от замерзания

63

KRUDYSHEV V. V., LAZAREV I. S.,  
FILIPPOV A. V., TERYTYEV V. V.  
Protection of water foam communications  
of fire pump against freezing

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.,  
ДЕГАЕВ Е. Н., ВЛАСОВ Н. А., МЕЛЬНИКОВ А. И.  
Тушение пламени горючих жидкостей  
химически активным ингибитором

70

KOROLCHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.,  
DEGAEV E. N., VLASOV N. A., MELNIKOV A. I.  
Suppression of a flame of combustible liquids  
by reaction inhibitor

## ДИСКУССИИ

## DISCUSSION

ТАРАНЦЕВ А. А., МАЛЫШЕВ Д. А.  
О возможности совершенствования ГОСТ Р 22.7.01–99  
“Единая дежурно-диспетчерская служба”

77

TARANTSEV A. A., MALYSHEV D. A.  
About possibility of perfection GOST R 22.7.01–99  
“Single duty-controller’s service”

## ВОПРОС – ОТВЕТ

82

## QUESTION – ANSWER

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

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

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



Определение времен подавления горения



Огнезащитные материалы НЕОФЛЭЙМ®

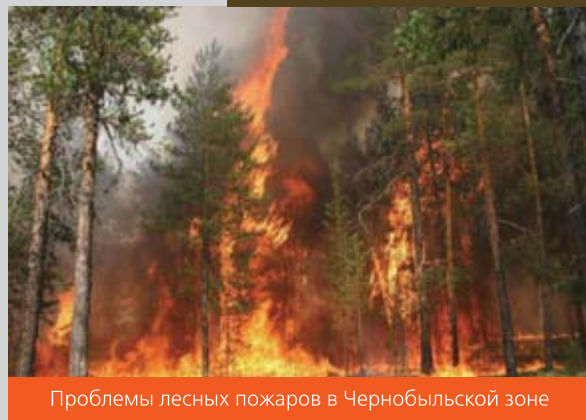
Стр. 14

Стр. 24



Алгоритм идентификации помещений в FDS-проектах

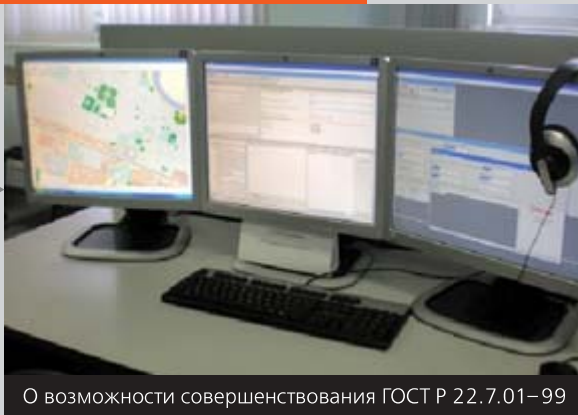
Стр. 45



Проблемы лесных пожаров в Чернобыльской зоне

Стр. 55

Стр. 77



О возможности совершенствования ГОСТ Р 22.7.01-99

**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 16.11.2015. Выход в свет 25.11.2015.

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).

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

**Editorial Staff:**

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

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

**Address of Editorial Staff:**

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

Post office box 43,  
Moscow, 121352, Russia.

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

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

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

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database.

Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory".

No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers.

Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory.

Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 16.11.2015

Date of publication 25.11.2015

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

**Chairman of Editorial Board:**

**Korolchenko A. Ya.,**

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

**Deputy Chairman of Editorial Board:**

**Molkov V. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

**Editorial Board:**

**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)



7-я Выставка  
технических средств охраны  
и оборудования для обеспечения  
безопасности и противопожарной защиты



**securika**  
Krasnodar



Краснодар

1–4  
марта  
2016

ВКК «Экспоград Юг»

Забронируйте стенд  
[securika-krasnodar.ru](http://securika-krasnodar.ru)



Системы  
и технические  
средства  
видеонаблюдения



Системы  
и средства  
ограничения  
доступа



Системы  
защиты  
периметра



Системы и средства  
обеспечения  
пожарной  
безопасности



Технические  
средства  
обеспечения  
безопасности

РЕКЛАМА



КРАСНОДАРЭКСПО  
в составе группы компаний ITE

Организатор «КраснодарЭКСПО»  
в составе Группы компаний ITE  
+7 (861) 200-12-15, 200-12-34  
[securika@krasnodarexpo.ru](mailto:securika@krasnodarexpo.ru)

Генеральный  
информационный партнер

**РУБЕЖ**  
независимый информационный ресурс

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ

**YugBuild**



**С. В. МАКАРКИН**, канд. юрид. наук, доцент, член-корреспондент МАНЭБ, начальник кафедры организации надзорной деятельности, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: mak\_s@e1.ru)

**Е. П. ВОРОБЬЕВА**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: elena.vorobeva.55@mail.ru)

**Ю. В. СИНЯКОВА**, бухгалтер 2-й категории, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: yulcha545@mail.ru)

**С. Р. ЛАТЫПОВ**, курсант, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: latyp72@mail.ru)

УДК 614.84:658

## СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНОВ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены вопросы разработки системы менеджмента качества (СМК) в области обеспечения пожарной безопасности и внедрения ее в деятельность органов местного самоуправления. Представлена последовательность действий по созданию системы менеджмента качества в области обеспечения пожарной безопасности. Рассмотрены основные методы и инструменты, используемые для организации управления деятельностью органов местного самоуправления, а также наиболее значимые критерии оценки результативности системы менеджмента качества. На основе анализа типовых процессов в соответствии с положениями IWA 4:2009 разработана процессная модель системы менеджмента качества органов местного самоуправления муниципального образования в области обеспечения пожарной безопасности.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; органы местного самоуправления; система менеджмента качества; управление; потребитель; процессная модель; критерии результативности; социальная ответственность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.6-13

С принятием Международного рабочего соглашения (International Workshop Agreement) IWA 4:2009 [1] вопросы внедрения системы менеджмента качества (СМК) в различные сферы деятельности органов местного самоуправления стали вызывать определенный интерес со стороны научного сообщества, и им был посвящен ряд статей [2–5]. Безусловно, вопросы внедрения СМК рассматривались и ранее, но исключительно в сфере управления бизнес-процессами предприятий различных стран, в том числе России [6–10]. Необходимо отметить, что внедрение СМК на основе международных стандартов серии ISO 9000 и рекомендаций IWA 4:2009 [1] является всемирно признанным механизмом обеспечения качества предоставляемых услуг. Руководство по применению ISO 9001:2008 [11] в местных органах власти интересно тем, что в нем приведены типовые процессы СМК, а также процедура самооценки органа местного самоуправления. Его положения могут найти применение в различных сферах деятельности органов местного самоуправления.

Важность и актуальность внедрения СМК в деятельность органов местного самоуправления в области обеспечения пожарной безопасности отмечались в ранее опубликованной статье [11].

Мероприятия по созданию СМК в области пожарной безопасности и внедрению ее в деятельность органов местного самоуправления целесообразно проводить в соответствии с положениями ГОСТ ISO 9001–2011 [12].

Цель внедрения СМК в деятельность любой организации — это, во-первых, удовлетворение запросов потребителей, а во-вторых, обеспечение устойчивого развития организации.

Потребителями услуг органа местного самоуправления в данном случае является население, временно или постоянно проживающее на территории муниципального образования.

Взаимоотношения между населением — гражданами (физическими лицами), проживающими на территории муниципального образования, и непосредственно муниципальными образованиями должны



строиться в соответствии с Гражданским кодексом Российской Федерации [13]. Участниками регулируемых гражданским законодательством отношений являются граждане, юридические лица, Российская Федерация, субъекты Российской Федерации и муниципальные образования (ст. 124).

Стандарт [12] устанавливает требования к СМК, которые могут быть использованы органами местного самоуправления для внутреннего применения, а также внутренними и внешними заинтересованными сторонами в целях оценки способности выполнять требования потребителей.

Стандарт был принят в качестве основы для создания процессной модели СМК во всех сферах деятельности и на всех уровнях местного самоуправления, в том числе в сфере обеспечения пожарной безопасности. Отправной точкой создания СМК является принятое органами местного самоуправления решение о ее создании, закрепленное в соответствующем муниципальном правовом акте (далее — МПА). Согласно ст. 43 Федерального закона № 131-ФЗ [14] к числу МПА относятся постановления и распоряжения главы муниципального образования, распоряжения и приказы местной администрации и иных органов местного самоуправления и должностных лиц местного самоуправления по вопросам, отнесенным к их компетенции (полномочиям) уставом

муниципального образования. В муниципальном правовом акте необходимо отразить цели создания системы, указать ответственных исполнителей (руководителя СМК, представителей высшего руководства, представителей по качеству в отдельных управленческих звеньях (комитетах, отделах)) и приложить план мероприятий со сроками исполнения каждого из них. На этом этапе важным моментом является создание компетентной рабочей группы.

В таблице приведена последовательность действий по созданию СМК в области обеспечения пожарной безопасности.

Представителем руководства по качеству целесообразно назначить одного из заместителей руководителя органа местного самоуправления, имеющего подготовку в вопросах управления качеством, наделив его в вопросах управления качеством внутри структуры правами заместителя.

Успех создания, функционирования и совершенствования СМК во многом зависит от принятия руководством на себя определенных обязательств, к которым относятся:

- принятие решения о создании СМК;
- разработка политики в области качества;
- определение целей с измеримыми показателями их достижения.

Последовательность действий по созданию СМК в области обеспечения пожарной безопасности

| Мероприятие                                              | Ожидаемый результат                                                 | Ответственный исполнитель                         |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Этап 1. Подготовительный                                 |                                                                     |                                                   |
| Принятие решения о создании СМК                          | МПА                                                                 | Глава муниципального образования                  |
| Назначение представителя руководства по качеству         | МПА                                                                 |                                                   |
| Обучение высшего руководства                             | Программа                                                           | Руководитель органа местного самоуправления       |
| Создание координационного совета                         | МПА (состав и положение)                                            |                                                   |
| Создание рабочей группы по СМК                           | МПА (состав и положение)                                            |                                                   |
| Обучение членов координационного совета и группы         | Программа                                                           |                                                   |
| Этап 2. Разработка СМК                                   |                                                                     |                                                   |
| Разработка политики в области качества                   | МПА                                                                 | Глава муниципального образования                  |
| Анализ деятельности органа местного самоуправления       | Критерии по целям                                                   | Представитель руководства по качеству             |
| Разработка структуры СМК с выделением основных процессов | Процессная модель                                                   |                                                   |
| Распределение ответственности и полномочий               | Матрица ответственности                                             | Руководитель органа местного самоуправления и СМК |
| Обучение представителей органа местного самоуправления   | Программа                                                           | Представитель руководства по качеству             |
| Разработка документов СМК                                | Документированные процедуры, карты процессов, стандарты организаций |                                                   |

Кроме того, в сферу ответственности руководителя муниципального образования входит:

- принятие решений по обращениям граждан в области пожарной безопасности;
- анализ функционирования СМК;
- обеспечение функционирования СМК необходимыми ресурсами (кадры, поддержание требуемой компетентности персонала, учебно-методическое и информационное обеспечение, финансирование и т. д.);
- анализ несоответствий в процессах служебной деятельности и разработка плана по их устранению и предупреждению.

Орган местного самоуправления, создающий собственную СМК, в первую очередь формулирует политику в области качества.

В ряде структурных подразделений органов местного самоуправления долгосрочные цели, достижение которых связывается с созданием СМК, могут быть увязаны с планами развития таких структур. В этом случае могут быть определены следующие цели:

- повышение конкурентоспособности оказываемых услуг;
- снижение управленческих затрат;
- обеспечение положительной динамики финансовых поступлений;
- повышение стабильности оказания услуг в соответствии с требованиями потребителей;
- повышение доверия к органу местного самоуправления.

Как уже отмечалось, каждая цель должна иметь измеримый показатель ее достижения. Поскольку любой орган местного самоуправления создается для удовлетворения запросов потребителей управленческих услуг, надежд и чаяний всего территориального сообщества, каждая структурная единица органа местного самоуправления способна и обязана определить круг выполняемых процессов и их потребителей.

Основным источником информации об удовлетворенности потребителя является книга отзывов и предложений, находящаяся в свободном доступе для клиентов. Дополнительными способами получения информации о качестве услуг могут быть опросы по телефону потребителей, получивших консультации в органе власти, или анкеты, которые предлагается заполнить потребителям в ходе посещения ими органа власти [15].

Процессы СМК, реализуемые в структурных подразделениях органов местного самоуправления, включаются в перечень с указанием шифра и наименования. Для каждого процесса определяются: руководитель, ответственный исполнитель и участники. Каждый процесс описывается в карте процес-

са с установлением входа, выхода, ресурсов и механизма управления им, а также метода оценки его результативности.

Критерии должны учитывать:

а) в какой форме отражается результат процесса (выполнен или не выполнен документ, завершен или не завершен этап процесса);

б) каковы количественные и качественные параметры результата процесса (сделано ли столько, сколько запланировано; выполнено ли в срок или с задержкой; выявлены ли несоответствия);

в) какими методами можно определить результативность (оценкой удовлетворенности потребителя (отсутствие рекламаций, выполнение абсолютно всех требований), фиксацией данных процесса, хронометражем отдельных операций и т. д.).

В рамках СМК необходимо четкое деление документов и записей по качеству, но общим требованием к ним является их идентификация.

К идентификационным признакам относятся:

- название информации о качестве (заголовки);
- временные рамки (исходя из содержания);
- состояние учета и оценки;
- составитель (должность, подразделение, фамилия, имя, отчество);
- дата;
- источник данных (место контроля, справка);
- пояснение к сокращениям и терминам.

Управление документами СМК включает в себя следующие процедуры: разработку, регистрацию и учет, распределение (выдачу), хранение, изъятие из обращения (архивирование).

Ввиду обилия разнообразных документов и записей в работе органа местного самоуправления целесообразно выделить документацию СМК в отдельный блок и поручить ведение его представителю структурного подразделения по качеству.

Для определения инструментов управления в органе местного самоуправления в области пожарной безопасности необходимо установить документированные процедуры, оформляемые в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 9001–2011 [12].

При разработке документов СМК необходимо учитывать и новые требования, установленные в ходе проводимой в стране административной реформы.

Высшее руководство любой организации, в частности органа местного самоуправления, обеспечивает обмен информацией, в том числе по вопросам результативности СМК, с учетом:

- разработки административного регламента по взаимодействию с отражением вопросов обмена информацией;
- системы оперативных совещаний, на которых информация сначала доводится высшим руковод-



ством до руководителей среднего звена, а теми в свою очередь — до остального персонала;

- обязательной передачи в нижестоящие структуры копий разрабатываемых планов работы и отчетов после их утверждения;
- ознакомления персонала под роспись с актуальными нормативными правовыми актами и нормативными документами, аналитическими и информационными материалами;
- создания электронных локальных информационных сетей, в которых все пользователи имеют возможность выхода не только на своих коллег, но и во внешние информационные сети;
- регулярного обновления общих сведений об органе местного самоуправления на официальном сайте в Интернете.

Желательно создавать систему информационного обеспечения с учетом перевода ее в электронный документооборот.

Одной из целей внутреннего аудита является получение достоверной информации об имеющихся несоответствиях процесса или его результата. Эта информация является основой для предупреждающих и корректирующих действий.

Ни один процесс не может развиваться без необходимых ресурсов, решающая роль среди которых принадлежит кадрам.

Всю работу по функциональным направлениям деятельности структуры органа местного самоуправления и решение вопросов в сфере качества осуществляет компетентный штатный персонал, имеющий соответствующее образование, подготовку (переподготовку), навыки и опыт работы в области пожарной безопасности. Политика в области качества должна отражать отношение руководства к своим работникам, включая их социальную защищенность.

Необходимый уровень компетентности каждого работника определяется в рамках его должностной инструкции, в которой указываются его функциональные обязанности. Если компетентность работника недостаточна, то применяется система профессиональной подготовки в соответствии со стандартом организации.

Оценка результативности мер, предпринятых по повышению компетентности персонала органа местного самоуправления, производится путем аттестации персонала (не реже одного раза в 5 лет), а также периодического анализа результатов деятельности органа местного самоуправления и его работников. Кроме того, оценка результатов работы выполняется ежегодно в декабре при уточнении списков резерва для выдвижения на вышестоящие должности.

Актуальность и важность деятельности каждого сотрудника организации в сфере обеспечения пожарной безопасности находит отражение в основ-

ном документе СМК — “Руководстве по качеству”. Информация о результатах работы в рассматриваемой сфере за отчетный период (как правило, за истекший год) доводится до сотрудников на итоговом собрании, а также путем ознакомления с аттестационными выводами и планом кадрового резерва.

Ресурсы включают также инфраструктуру и производственную среду. К инфраструктуре относятся здания и средства труда, оборудование для реализации процессов и службы обеспечения. Требуемый уровень инфраструктуры лучше всего оформлять в виде административного регламента. Этот же документ может включать требования к производственной среде органов местного самоуправления (площадь служебных помещений в расчете на одного работающего, условия освещения, температурный режим, распорядок дня, организация питания и т. д.).

К вопросам измерения, анализа и улучшений процессов СМК следует отнести оценку работы и качества оказываемых управленческих услуг:

- выполнено или не выполнено принятое решение;
- своевременно ли оно выполнено;
- в полном ли объеме выполнено;
- оказало ли оно ожидаемое воздействие, получен ли социальный или экономический эффект.

К номенклатуре показателей качества услуг относятся количественные и качественные характеристики.

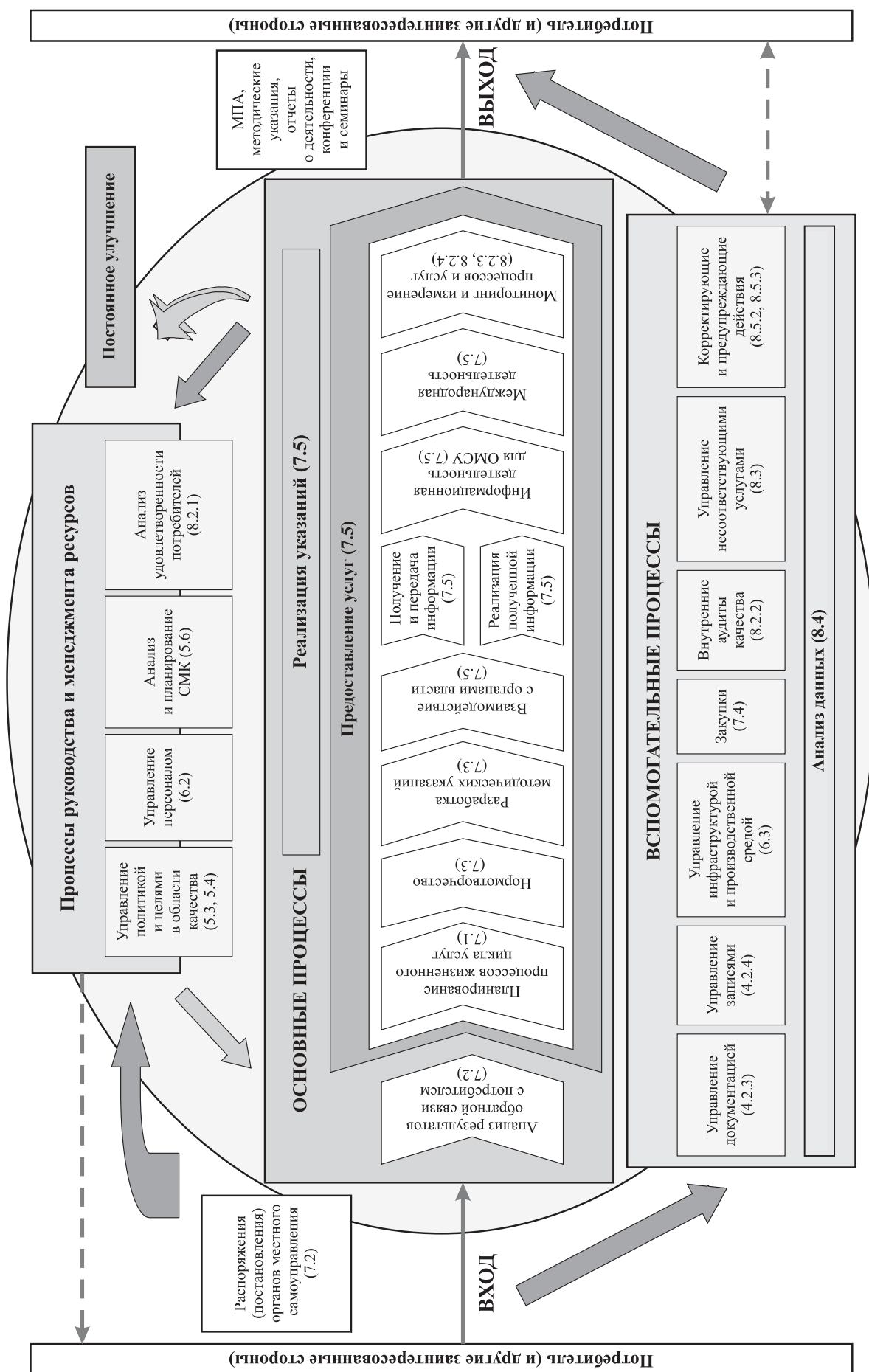
Количественные характеристики — время ожидания услуги и своевременность ее предоставления, характеристики оборудования, материалов, точность исполнения, полнота услуги.

Качественные характеристики — вежливость, чуткость, компетентность, доступность персонала, доверие к персоналу (а значит, и к органу местного самоуправления), комфорт и эстетика, эффективность контактов исполнителя и потребителя.

Документом, комплексно помогающим отслеживать и измерить процессы, является отчет структуры органа местного самоуправления за определенный период времени.

При оценке результативности и эффективности СМК необходимо получать измеримую информацию о каждом процессе, реализуемом в органе местного самоуправления.

Следует различать такие понятия, как информация, данные, обобщения и обработка. Информация о качестве — данные, которые служат для информирования (указания, пояснения, справки). Данные о качестве — данные для описания качества единицы продукции, рамочных условий, контроля качества с целью определения уровня качества и описания требований качества. Обобщение данных о качестве — это письменные записи об исходных данных и о результатах, которые возникают при пла-



Процессная модель системы менеджмента качества органов местного самоуправления в области обеспечения пожарной безопасности



нировании, руководстве и контроле качества, а также при анализе и расчетах. Обработка (анализ) данных о качестве, т. е. систематическое использование методов и технологий при обработке данных о качестве, — это процесс расчетов и комбинирования, при котором из большого числа исходных данных получают новую концентрированную информацию.

К информации о качестве предъявляются такие требования, как объективность, однозначность, классифицируемость, прослеживаемость, легкость архивирования, своевременность, понятность, правильная адресация по иерархическому уровню.

Процессный подход при создании СМК органов местного самоуправления состоит в непрерывности управления, которую он обеспечивает на стыке отдельных процессов в рамках всей системы, а также при их комбинации и взаимодействии.

Представленная на рисунке процессная модель СМК в области обеспечения пожарной безопасности для органов местного самоуправления, основанная на процессном подходе, иллюстрирует связи между происходящими процессами. Эта модель показывает, что запросы потребителя имеют определяющее значение при установлении входных данных. Мониторинг удовлетворенности потреби-

телей требует оценки информации о восприятии потребителями выполнения их требований. На схеме также отображены основные виды деятельности, происходящие в органах местного самоуправления: процессы руководства и менеджмента ресурсов; основные и вспомогательные процессы.

В качестве дополнительного инструмента по внедрению СМК в деятельность органов местного самоуправления в области пожарной безопасности может служить ГОСТ Р ИСО 26000:2012 [16], который предназначен для обеспечения взаимопонимания в области социальной ответственности и может дополнять другие инструменты и инициативы в области социальной ответственности.

Конечно же не стоит забывать, что в настоящее время действует стандарт ISO 18091:2014 “Системы менеджмента качества. Руководящие указания по применению ISO 9001:2008 в местном самоуправлении” [17]. Стандарт был разработан для органов местного самоуправления и содержит рекомендации по внедрению СМК согласно требованиям ISO 9001:2008 с целью обеспечения устойчивого развития организации и общества в целом, а также создания надежных и устойчивых процессов функционирования органов местного самоуправления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Workshop Agreement IWA 4:2009. Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2008 in local government (Системы менеджмента качества. Руководство по применению ISO 9001:2008 в местных органах власти). URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:iwa:4:ed-2:v1:en> (дата обращения: 07.07.2015).
2. Годнев Е. В. Чего мы ждем от системы менеджмента качества в органах местного самоуправления // Стандарты и качество. — 2008. — № 11. — С. 34–37.
3. Никаноров П. А. Мировой опыт развития органов местного управления // Менеджмент сегодня. — 2009. — № 1. — С. 2–11.
4. Зубков Ю. П. Системы менеджмента качества в государственных и муниципальных организациях // Стандарты и качество. — 2009. — № 4. — С. 68–71.
5. Непейвода С. Н. Особенности сопряжения процесса разработки стандартов качества в рамках БОР с внедрением СМК в органах местного самоуправления // Экономические науки. — 2010. — № 1(62). — С. 139–142.
6. Atkinson H., Hamburg J., Ittner C. Linking quality to profits: quality-based cost management — Asqc/Quality Press, 1994. — 405 p.
7. Dickenson R. P., Campbell D. R., Azarov V. N. Quality management implementation in Russia: Strategies for change // International Journal of Quality & Reliability Management. — 2000. — Vol. 17, No. 1. — P. 66–82. DOI: 10.1108/02656710010300144.
8. Ingram P., Silverman B. S. Introduction: The new institutionalism in strategic management // Advances in Strategic Management (Vol. 19). — Emerald Group Publishing Limited, 2002. — P. 1–30. DOI: 10.1016/S0742-3322(02)19001-2.
9. Watson P., Chileshe N., Maslow D. Deploying Total Quality Management in Russia // European Quality. — 2004. — Vol. 11, No. 2. — P. 28–41.
10. Phillips-Donaldson Debbie. On Leadership // Quality Progress. — 2002. — Vol. 35, No. 8. — P. 24–25.
11. Макаркин С. В., Воробьева Е. П. Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления в области обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 6–14.
12. ГОСТ ISO 9001–2011. Системы менеджмента качества. Требования. — Введ. 01.01.2013. — М.: Стандартинформ, 2012. — 27 с.

13. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) : Федер. закон РФ от 30.11.1994 № 51-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 32, ст. 3301; Российская газета. — 08.12.1994. — № 238–239.
14. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации : Федер. закон РФ от 06.10.2003 № 131-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2003. — № 40, ст. 3822; Российская газета. — 08.10.2003. — № 202.
15. Разумов-Раздолов К. От качества продукции к качеству управления // Стандарты и качество. — 2009. — № 3. — С. 84–87.
16. ГОСТ Р ИСО 26000:2012. Руководство по социальной ответственности. — Введ. 15.03.2013. — М. : Стандартинформ, 2014. — 114 с.
17. ISO 18091:2014. Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2008 in local government (Системы менеджмента качества. Руководящие указания по применению ISO 9001:2008 в местном самоуправлении). URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18091:ed-1:v1:en> (дата обращения: 07.07.2015).

*Материал поступил в редакцию 17 июля 2015 г.*

**Для цитирования:** Макаркин С. В., Воробьева Е. П., Синякова Ю. В., Латыпов С. Р. Создание и внедрение системы менеджмента качества в деятельность органов местного самоуправления по обеспечению пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 6–13. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.6-13.

English

## CREATION AND IMPLEMENTATION OF A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN THE ACTIVITIES OF LOCAL GOVERNMENTS FOR ENSURE FIRE SAFETY

**MAKARKIN S. V.**, Candidate of Law Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of IAEMNPS, Head of Department of Supervisory Activities, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: mak\_s@e1.ru)

**VOROBYEVA E. P.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Fire Safety in Construction Activities, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: elena.vorobeveva.55@mail.ru)

**SINYAKOVA Yu. V.**, Second Grade Accountant, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: yulcha545@mail.ru)

**LATYPOV S. R.**, Cadet, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: latyp72@mail.ru)

### ABSTRACT

Questions of development and deployment in activity of local governments of quality management system in the field of ensuring fire safety are considered. Purposes of creation of SMQ (Quality Management System), and also consumers of services of local governments services and interested parties are defined. The sequence of actions for the creation of quality management system in the field of ensuring fire safety with a concretization of the planned actions, the expected result and responsibility of performers is presented. Responsibility and obligations of the management in quality are established. Long-term goals are formulated and possible measurable indicators of their achievement are offered. Specifics of activity of local government are reflected in studying of questions of management of documents and records on quality with allocation of their identifying signs. Ways of obtaining objective information on satisfaction of consumers are investigated. Forms of exchange of information taking into account productive functioning of SMK are defined. Questions of competence of staff of local governments and criteria of quality of the rendered administrative services are considered. The main methods and tools used for the organization of management of activity of local governments, and also the most significant criteria of an assessment of productivity of quality management system are defined. On the basis of the analysis of standard processes ac-

cording to the provisions IWA 4:2009 the process model of quality management system of local governments of municipality in the field of ensuring fire safety with allocation of processes of the management, the main and auxiliary processes is developed.

**Keywords:** fire safety; local government authority; quality management system; management; consumer; process model; efficiency criterion; social responsibility.

## REFERENCES

1. International Workshop Agreement IWA 4:2009. Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2008 in local government. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:iwa:4:ed-2:v1:en> (Accessed 7 July 2015).
2. Godnev E. V. Chego my zhdem ot sistemy menedzhmenta kachestva v organakh mestnogo samoupravleniya [What do we expect from a quality management system in local government]. *Standarty i kachestvo — Standards and Quality*, 2008, no. 11, pp. 34–37.
3. Nikanorov P. A. Mirovoy opyt razvitiya organov mestnogo upravleniya [World experience of local government]. *Menedzhment segodnya — Management Today*, 2009, no. 1, pp. 2–11.
4. Zubkov Yu. P. Sistemy menedzhmenta kachestva v gosudarstvennykh i munitsipalnykh organizatsiyakh [Quality management systems in state and municipal institutions]. *Standarty i kachestvo — Standards and Quality*, 2009, no. 4, pp. 68–71.
5. Nepeyvoda S. N. Osobennosti sopryazheniya protsessa razrabotki standartov kachestva v ramkakh BOR s vnedreniyem SMK v organakh mestnogo samoupravleniya [Features interface development process quality standards in the PBB with the implementation of QMS in the local self-government]. *Ekonomicheskiye nauki — Economic Sciences*, 2010, no. 1(62), pp. 139–142.
6. Atkinson H., Hamburg J., Ittner C. *Linking quality to profits: quality-based cost management*. Asqc/Quality Press, 1994. 405 p.
7. Dickenson R. P., Campbell D. R., Azarov V. N. Quality management implementation in Russia: Strategies for change. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2000, vol. 17, no. 1, pp. 66–82. DOI: 10.1108/02656710010300144.
8. Ingram P., Silverman B. S. Introduction: The new institutionalism in strategic management. In: *Advances in Strategic Management (Vol. 19)*. Emerald Group Publishing Limited, 2002, pp. 1–30. DOI: 10.1016/S0742-3322(02)19001-2.
9. Watson P., Chileshe N., Maslow D. Deploying Total Quality Management in Russia. *European Quality*, 2004, vol. 11, no. 2, pp. 28–41.
10. Phillips-Donaldson Debbie. On Leadership. *Quality Progress*, 2002, vol. 35, no. 8, pp. 24–25.
11. Makarkin S. V., Vorobyeva E. P. Ob otsenke effektivnosti deyatel'nosti organov mestnogo samoupravleniya v oblasti obespecheniya pozhar'noy bezopasnosti [On efficiency of local government institutions work in the field of fire safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, vol. 23, no. 8, pp. 6–14.
12. *Interstate Standard ISO 9001–2011. Quality management systems. Requirements*. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 27 p. (in Russian).
13. The Civil Code of the Russian Federation (part 1). Federal law on 30.11.1994 No. 51. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of Russian Federation*, 1994, no. 32, art. 3301; *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 08.12.1994, no. 238–239 (in Russian).
14. On General principles of organization of local government in the Russian Federation. Federal Law of RF on 06.10.2003 No. 131. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of Russian Federation*, 2003, no. 40, art. 3822; *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 08.10.2003, no. 202.
15. Razumov-Razdolov K. Ot kachestva produktsii k kachestvu upravleniya [From product quality to the quality of management]. *Standarty i kachestvo — Standards and Quality*, 2009, no. 3, pp. 84–87.
16. *National Standard of Russian Federation ISO 26000:2012. Guidance on social responsibility*. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 114 p. (in Russian).
17. *ISO 18091:2014. Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2008 in local government*. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18091:ed-1:v1:en> (Accessed 7 July 2015).

**For citation:** Makarkin S. V., Vorobyeva E. P., Sinyakova Yu. V., Latypov S. R. Sozdaniye i vnedreniye sistemy menedzhmenta kachestva v deyatel'nost organov mestnogo samoupravleniya po obespecheniyu pozhar'noy bezopasnosti [Creation and implementation of a quality management system in the activities of local governments for ensure fire safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 6–13. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.6-13.



**Д. В. АНТОНОВ**, студент, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: dva14@tpu.ru)

**Р. С. ВОЛКОВ**, канд. техн. наук, младший научный сотрудник кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

**М. В. ЗАБЕЛИН**, инженер кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zabelinmv@tpu.ru)

**М. В. ПИСКУНОВ**, аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: piskunovmv@tpu.ru)

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

УДК 536.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕН ПОДАВЛЕНИЯ ГОРЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ОЧАГА ЛЕСНОГО ПОЖАРА ТОНКОДИСПЕРСНЫМ КАПЕЛЬНЫМ ПОТОКОМ

Проведены экспериментальные исследования процесса подавления горения модельного очага лесного пожара тонкодисперсным капельным водяным потоком с начальным размером капель 50–300 мкм и объемной концентрацией около 0,0012 м<sup>3</sup> капель на 1 м<sup>3</sup> газа. Применены средства высокоскоростной (до 6·10<sup>5</sup> кадров в секунду) видеорегистрации и специализированное программное обеспечение "Тема Automotive". Выявлены условия, при которых происходит полная ликвидация очага горения. Определены оптимальные размеры капель воды, количество форсунок и их взаимное расположение, обеспечивающие эффективное тушение очага пожара (характерное время тушения около 220 с при минимальном расходе тушащего жидкостного состава около 4,5 л). Проведена экспериментальная оценка полноты испарения одиночных капель воды в условиях движения их через модельный очаг пожара. Показано хорошее соответствие полученных данных с результатами ранее проведенных лабораторных исследований.

**Ключевые слова:** пламя; высокотемпературные газы; распыленная вода; тушение; испытания; модельный очаг пожара.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.14-23

### Введение

На территории Российской Федерации ежегодно регистрируются от 15 до 30 тыс. пожаров, охватывающих площадь от нескольких сотен до нескольких миллионов гектаров [1–3]. Многие лесные пожары возникают в труднодоступных и удаленных от водоемов местах. Этот фактор определяет потребность в уменьшении расходов жидкости, в частности воды, необходимой для эффективного пожаротушения.

Современные подходы к тушению пожаров, предусматривающие, например, применение тонкораспыленной воды [4–6], водяных завес [7–9], водяного тумана [10, 11], позволяют довольно существенно

минимизировать расход тушащей жидкости. В технологиях, описанных в [4–11], диапазон размеров капель воды, как правило, составляет 100–300 мкм. В реальных условиях объем тушащей жидкости, используемой в процессе пожаротушения даже с применением указанных выше подходов [4–11], остается весьма значительным. Это связано со сложностями оценки необходимого объема тушащей жидкости для ликвидации очагов того или иного вида пожара (особенно лесного).

Процессы тушения пожаров тонкодисперсными потоками воды характеризуются весьма сложными механизмами тепломассопереноса [12]. Основным

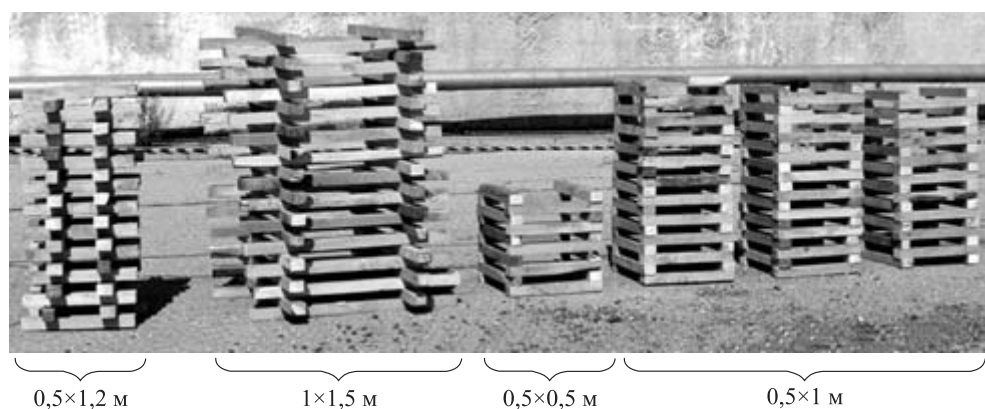


Рис. 1. Внешний вид модельных очагов пожара

доминирующим процессом, определяющим эффект тушения, является испарение капель воды в газовой фазе [13–17]. В лабораторных условиях установлено [13–17], что капли тонкораспыленной воды (размером до 50–70 мкм) в потоке высокотемпературных продуктов сгорания подвергаются торможению и уносу [15]. Капли же размером более 0,5 мм практически не испаряются в зоне горения протяженностью 1–2 м [13, 17]. Для эффективного пожаротушения одним из необходимых условий является интенсификация парообразования. Для этого оптимальные размеры капель целесообразно выбирать из диапазона от 100 до 500 мкм (в соответствии с основными заключениями экспериментов [13–17]).

Выполненные в последние годы теоретические [18, 19] и экспериментальные [20, 21] исследования позволили определить массу тушащей жидкости и характеристики испарения воды в зоне пламени в условиях, приближенных к реальным пожарам. Однако исследования [18–21] проводились в лабораторных условиях. В связи с этим большой интерес представляют соответствующие испытания на модельных очагах горения.

Каждый тип лесного пожара характеризуется соответствующим тепловыделением [22, 23]. Принято выделять низовой, верховой и подземный типы пожаров [22, 23]. Современные технологии позволяют моделировать конструкции — очаги, имитирующие указанные типы лесного пожара. Они выбираются из модельных очагов, как правило, по ГОСТ Р 51057–2001.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование типичных времен подавления горения модельного очага лесного пожара тонкодисперсным каплевым потоком в условиях полевых испытаний.

### Методика экспериментальных исследований

Исследования включали два этапа:

1) определение времен подавления горения модельного очага лесного пожара;

2) изучение особенностей испарения капель воды на примере группы модельных очагов пожара.

В качестве модельных очагов (рис. 1) использовали конструкции, имитирующие верховые и низовые пожары в соответствии с ГОСТ Р 51057–2001. Модельные очаги собирали из брусков сосны сечением 50×50 и 100×100 мм и длиной от 0,5 до 1 м. Высота модельных очагов варьировалась от 0,5 до 1,5 м. Удельная мощность тепловыделения используемых модельных очагов составляла 4,05–18,4 МВт/м<sup>2</sup>.

В ходе исследований по определению времен подавления горения модельного очага лесного пожара применяли испытательный комплекс, схема которого приведена на рис. 2. В качестве регистрацион-

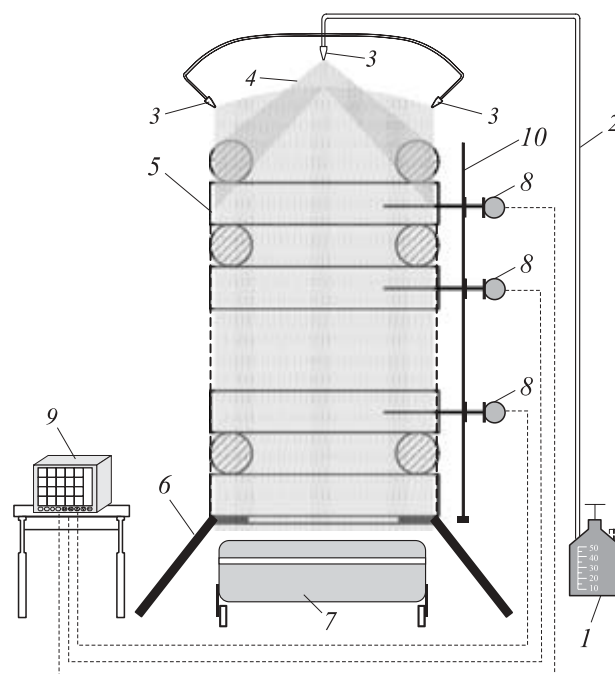


Рис. 2. Схема испытательного комплекса: 1 — баллон с водой; 2 — канал подачи воды; 3 — форсуночные распылительные устройства; 4 — капли распыленной воды (пароводяное облако); 5 — “тело” модельного очага пожара (деревянные бруски); 6 — металлическая площадка (основание конструкции); 7 — выдвижная тележка для улавливания жидкости; 8 — термодатчики; 9 — регистратор многоканальный технологический; 10 — защитная термоизоляционная стена

ной аппаратуры комплекса использовали многоканальное технологическое устройство РМТ-59М, электронный секундомер и электронные весы.

В соответствии с методикой проведения экспериментов последовательно выполняли следующие процедуры:

- наполняли баллон 1 предварительно подготовленной водой;
- создавали в баллоне 1 избыточное давление (около  $2 \cdot 10^5$  Па);
- до начала огневых испытаний осуществляли настройку параметров распыла используемых форсунок 3 (по дисперсности капель, скорости подачи и углом факела распыла форсунок, полученным в лабораторных условиях [13–17]);
- осуществляли зажигание модельного очага пожара 5;
- по истечении 7–8 мин после зажигания модельного очага подавали воду из баллона 1 по каналу на вход форсуночного распылительного устройства 3, из которого производилось распыление воды во внутреннюю область модельного очага; регистрировали длительность процесса тушения с помощью секундомера;
- распыление воды в модельный очаг пожара осуществлялось до тех пор, пока не происходило угасание пламени; регистрировали время окончания процесса тушения (факт тушения фиксировался визуально, после чего подача воды прекращалась); согласно требованиям ГОСТ Р 51057–2001 тушение считалось достигнутым, если в течение 10 мин не происходило повторного воспламенения.

При движении потока распыленной воды сквозь модельный очаг возгорания формировалось пароводяное облако, которое испарялось и частично уносилось с высокотемпературными продуктами сгорания. Неиспарившаяся вода, пройдя через отверстие в металлической площадке, осаждалась на водостойкое брезентовое полотно, размещенное в выдвижной тележке для улавливания жидкости. Затем тележку выкатывали, вынимали из нее брезентовое полотно с осажденной водой и взвешивали ее. После этого проводили сравнение полученных результатов с количеством израсходованной при тушении модельного очага воды и вычисляли массу жидкости, потраченной непосредственно на ликвидацию горения модельного очага возгорания.

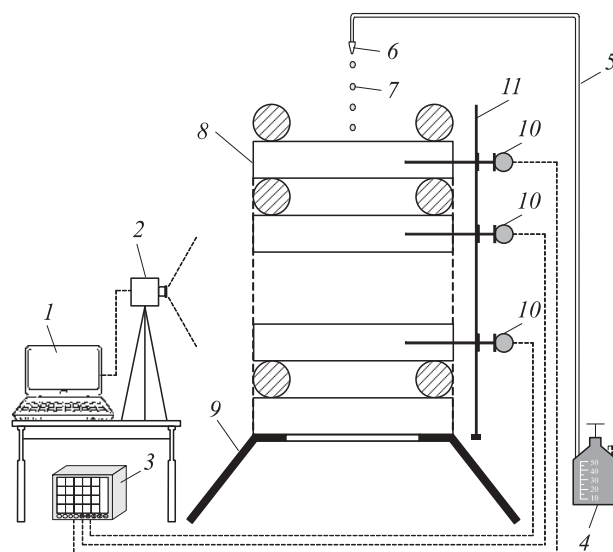
Было проведено несколько серий экспериментов для различных распылительных форсунок с варьируемыми расходом жидкости, скоростью движения капель и их размерами в потоке. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51057–2001 для каждого модельного очага проводили не менее трех серий экс-

периментов, после чего вычисляли средний расход воды на тушение и время ликвидации возгорания.

При изучении особенностей испарения капель воды в модельном очаге пожара применяли испытательный комплекс, схема которого приведена на рис. 3. Регистрационная и измерительная аппаратура испытательного комплекса (см. рис. 3) в целом аналогична аппаратуре, используемой при определении времени подавления горения модельного очага лесного пожара. Однако в отличие от комплекса, приведенного на рис. 2, при изучении особенностей испарения капель воды дополнительно использовалась высокоскоростная CMOS видеокамера “Phantom V411” 1 (формат изображения  $1024 \times 1024$  пикселей, частота съемки до  $6 \cdot 10^5$  кадров в секунду) и рабочая станция 2 (персональный компьютер).

Согласно методике проведения испытаний (см. рис. 3) последовательно выполняли следующие процедуры:

- осуществляли калибровку измерительной системы (выбирали настройки видеокамеры 1, определяли масштабный коэффициент);
- “тело” (деревянный каркас) модельного очага пожара 8 предварительно пропитывали горючей жидкостью, состоящей из смеси жидких углеводородов и парафинов, и зажигали;
- по истечении 2–3 мин после зажигания модельного очага в баллоне 4, предварительно наполненном водой, создавали избыточное давление, после чего воду из баллона по каналу 5 подавали на вход дозатора 6;



**Рис. 3.** Схема испытательного комплекса: 1 — высокоскоростная видеокамера; 2 — персональный компьютер; 3 — регистратор многоканальный технологический; 4 — баллон с водой; 5 — канал подачи воды; 6 — дозирующее устройство; 7 — капли воды; 8 — “тело” модельного очага пожара (деревянные бруски); 9 — металлическая площадка (основание конструкции); 10 — термометры; 11 — защитная термоизоляционная стена



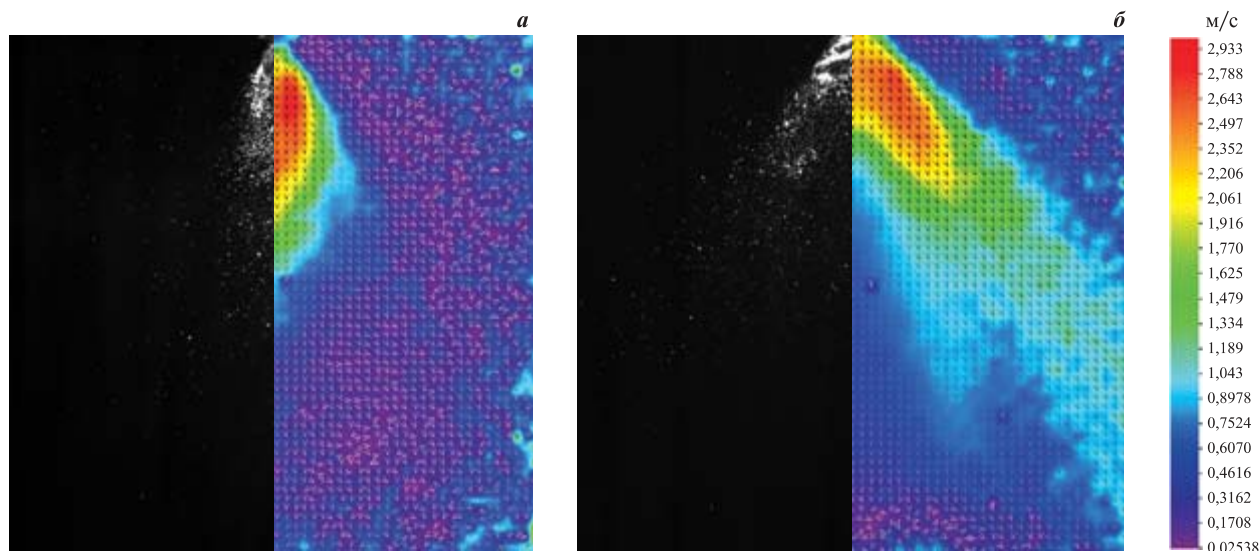


Рис. 4. Характерные видеogramмы и поля скоростей капельного потока при его генерации двумя типами форсунок: *а* —  $d = 50\div 150$  мкм; *б* —  $d = 150\div 300$  мкм

- при регулировании дозирующего устройства *б* подбирали оптимальные параметры (необходимая скорость генерации капель и их начальные размеры  $d_0$ );
- осуществляли запуск капель воды 7;
- с помощью высокоскоростной камеры 1 выполнялась процедура видеорегистрации процесса движения капель и изменения их размеров при прохождении через горящий очаг; отснятые данные передавались на персональный компьютер 2;
- осуществляли обработку данных с помощью программного комплекса “Tema Automotive” [24], в результате которой вычисляли средние размеры капель  $d$ , скорость их перемещения  $u_m$  и долю испарившейся воды.

Для каждого начального размера капель воды проводили не менее 10 экспериментов.

Размеры капель в расчетных областях видеок кадров (до и после зоны пламени) определяли по последовательному набору видеogramм, полученных через фиксированный временной интервал. Для каждой капли жидкости с заданным шагом по времени при помощи программного комплекса “Tema Automotive” определяли максимальные диаметры в горизонтальном и вертикальном направлениях. Затем после анализа всей видеозаписи движения капли ее диаметр усредняли:  $d_{\text{кап}} = (d_1 + d_2 + \dots + d_n)/n$ . Далее вычисляли соответствующие значения средних радиусов капель  $R_d$ .

После этого рассчитывали (по аналогии с работами [15–17]) параметр  $\Delta R$  (%), характеризующий уменьшение размера капель при движении через высокотемпературную газовую область:  $\Delta R = (R_d - R_d^*)/R_d \cdot 100$  % (где  $R_d$ ,  $R_d^*$  — условный средний радиус капли соответственно на входе в зону высокотемпературных газов и на выходе из нее, мм).

Температуру пламени (продуктов сгорания) измеряли тремя хромель-алюмелевыми термопарами (диапазон измеряемых температур 273–1373 К, допустимое отклонение  $\Delta = 3,3$  К) на разных по высоте уровнях испытательного комплекса.

Систематическая погрешность измерения средних размеров капель составила 0,03 мм, случайные погрешности не превышали 5,9 %. Максимальная погрешность измерения времени тушения не превышала 1 с.

### Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных в лабораторных условиях экспериментов [13–17] установлены основные параметры распыла воды (скорость движения капель, угол факела распыла) двумя типами форсунок, генерирующих водяной поток с размером капель 50–150 и 150–300 мкм. С применением панорамных оптических методов “Particle Image Velocimetry” (PIV) [25] и “Shadow Photography” (SP) [26] получены двухкомпонентные распределения скоростей (рис. 4) и гistogramмы распределения размеров (рис. 5) капель тонкораспыленной воды для указанных типов форсунок. Методы PIV и SP относятся к классу бесконтактных и применяются для определения характеристик быстропротекающих процессов. Метод PIV базируется на определении мгновенного перемещения частиц потока, попавших в плоскость сечения лазерного ножа [25]. Метод SP основан на регистрации теневой фотографии объекта, имеющего коэффициент преломления, отличный от окружающей его среды [26].

Результаты исследований [12–19] показали, что тонкораспыленная вода представляет собой эффективное средство пожаротушения. Эффективность достигается за счет снижения требуемого для тушения

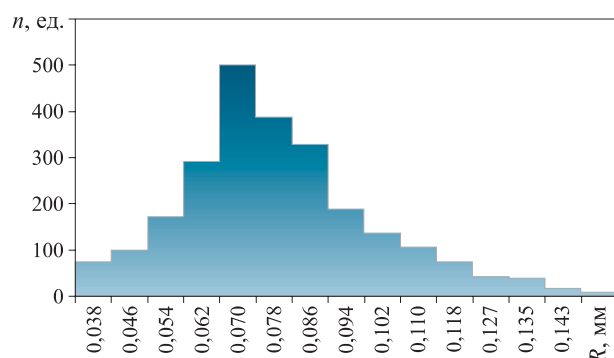


Рис. 5. Распределение размеров (радиусов) капель в распыленном потоке воды, генерируемом одним из типов форсунок

объема жидкости, уменьшения расходов на транспортировку ее на дальние расстояния, ее высокой огнетушащей способности. Наряду с тонкораспыленной водой, в экспериментах [12–19] рассмотрены также элементы генерации капель, соответствующие другим современным системам пожаротушения (водяной туман и водяная завеса с размером капель в потоке соответственно 5–50 и 300–1000 мкм). Представляло интерес в полевых условиях варьирование размеров и концентрации капель в потоке в соответствии с оптимальными диапазонами, выявленными по результатам экспериментов [12–19].

При испытании распылительных форсунок в полевых условиях в плане их огнетушащих возможностей использовали несколько идентичных модельных очагов пожара размером 1×1×1,5 м (см. рис. 1). На рис. 6 приведен внешний вид типичных модельных очагов пожара, используемых при проведении цикла полевых испытаний (до начала испытаний и после завершения процесса тушения соответственно).

Результаты испытаний по тушению модельных очагов возгораний с применением тонкодисперсного капельного потока приведены в таблице.

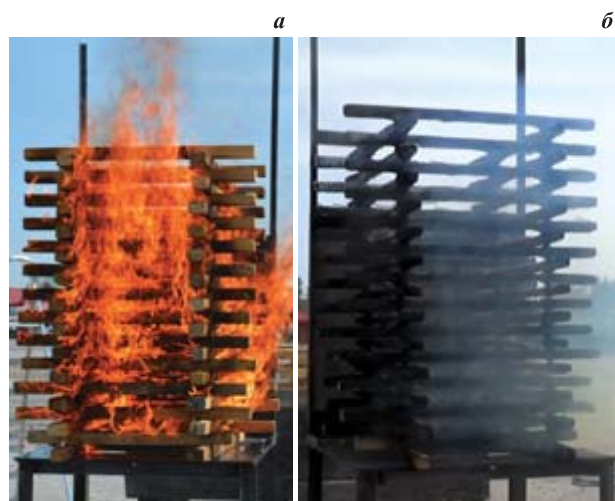


Рис. 6. Внешний вид модельного очага пожара в процессе горения (а) и после завершения процесса тушения (б)

Результаты испытаний по определению времен подавления горения пароводяным облаком

| Размер капель в потоке, генерируемом форсункой, мкм | Количество одновременно используемых при тушении форсунок | Время подавления горения, с | Объем израсходованной на тушение воды, л |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| 50–150                                              | 1                                                         | Тушение не достигнуто       | –                                        |
| 50–150                                              | 3                                                         | Тушение не достигнуто       | –                                        |
| 150–300                                             | 1                                                         | Тушение не достигнуто       | –                                        |
| 150–300                                             | 3                                                         | 219                         | 4,5                                      |

Как видно из таблицы, прекращения процесса горения модельного очага удалось достичь только в случае одновременного включения трех форсунок, генерирующих полидисперсный капельный поток с размером капель 150–300 мкм. Такой результат можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, мелкие (50–150 мкм) капли воды практически в полном объеме с легкостью подхватываются и уносятся восходящими продуктами сгорания, а также воздушными потоками (ветром). Это хорошо согласуется с результатами ранее выполненных лабораторных исследований по изучению закономерностей изменения траектории движения и уноса газопарокапельного потока продуктами сгорания жидких горючих веществ [16]. Во-вторых, образовавшееся в ходе тушения паровое облако также подвергалось уносу воздушным потоком (ветром). Использование в экспериментах распыленной струи с размером капель 150–300 мкм приводило к тому, что они проникали внутрь очага возгорания, практически не подвергаясь уносу, орошали горящую поверхность очага и охлаждали ее. Образовавшееся в ходе тушения паровое облако на какое-то время задерживалось внутри очага (и в его окрестностях). Расположение форсунок было выбрано таким образом, чтобы факелы распыла перекрывали друг друга, тем самым препятствуя уносу мелких капель и водяного пара. За счет этого достигалось значительное снижение температуры в окрестностях модельного очага и вытеснение окислителя из зоны пожара.

На рис. 7 приведены видеogramмы с изображениями капли воды после прохождения расстояния 1 м в воздушной (см. рис. 7,а) и высокотемпературной газовой (см. рис. 7,б) среде в условиях полевых испытаний. На рис. 8 представлены результаты обработки одной из снятых видеозаписей программным комплексом “Tema Automotive” [24].

При анализе результатов испытаний с применением описанных подходов (см. рис. 8) вычислены диапазоны изменения параметра  $\Delta R$  для капель раз-

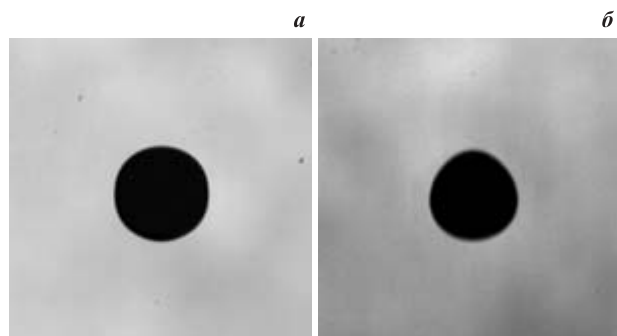


Рис. 7. Видеограммы с изображениями капли воды ( $d_0 \approx 6,5$  мм) после прохождения расстояния 1 м в воздушной (а) и высокотемпературной газовой (б) среде

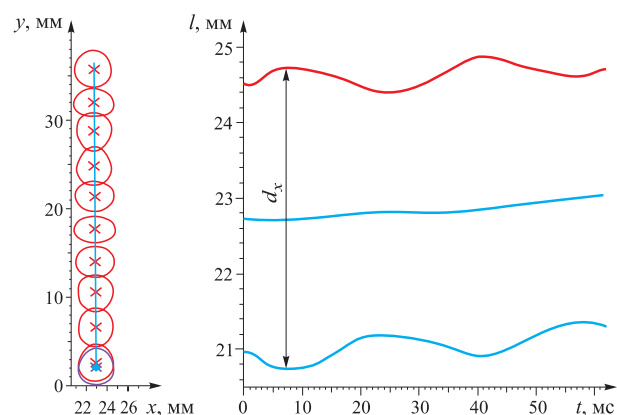


Рис. 8. Результаты обработки одной из снятых видеозаписей программным комплексом “Тема Automotive”: а — изменение формы капли при ее движении; б — изменение размеров капли по горизонтали в процессе движения ( $T=0,0626$  с)

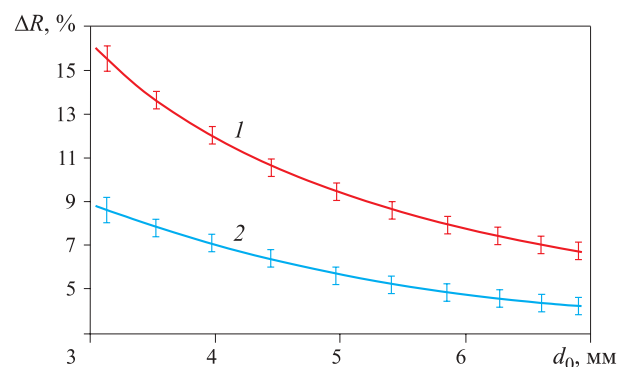


Рис. 9. Зависимость параметра  $\Delta R$  от начального размера капель воды  $d_0$  при прохождении ими расстояния около 1 м в высокотемпературных продуктах сгорания при испытаниях в полевых (1) и лабораторных (2) условиях

ных размеров. Зависимость, отражающая закономерности процесса испарения малых (3–7 мм) водяных капель, приведена на рис. 9. Установлено, что с ростом начальных размеров капель параметр  $\Delta R$  нелинейно уменьшается. В частности, для капель с начальным диаметром  $d_0 \approx 4$  мм значение параметра  $\Delta R$  составляло около 12 %, при  $d_0 \approx 5$  мм — 9,5 % и при  $d_0 \approx 6$  мм — 8 %.

Вид и характер полученной кривой в целом достаточно хорошо коррелируют с результатами ранее проведенных лабораторных исследований [12–19]. Однако при проведении экспериментов в лабораторных условиях значения параметра  $\Delta R$  для капель, например, с  $d_0 \approx 6$  мм не превышали, как правило, 3–4 %, а для капель с  $d_0 \approx 3$  мм — 9–11 %. Более высокие значения параметра  $\Delta R$  по результатам полевых испытаний, скорее всего, обусловлены повышением начальной температуры воды до 315–320 К за счет высоких температур в окрестности модельного очага пожара, что вызвало нагрев медного канала, по которому вода подавалась в область пламени (имелся непосредственный контакт пламени с выводом канала). Тем не менее полевые испытания показали, что результаты исследований в лабораторных условиях [12–19] хорошо коррелируют с данными, полученными при использовании для создания высокотемпературной газовой среды модельных очагов лесных пожаров.

Испытания одиночных капель воды в полевых условиях были проведены с использованием группы модельных очагов пожара (см. рис. 1). Установлено, что значения интегрального параметра  $\Delta R$  для всех сопоставимых по высоте очагов пожара были близки (отклонения не превышали 2–3 %). Этот результат свидетельствует о том, что заключения по результатам проведенных экспериментов справедливы для разных конструкций модельных очагов возгораний. Это, в свою очередь, позволяет интерполировать сформулированные представления на разные условия тушения лесных пожаров.

## Выводы

1. Разработана методика экспериментальных испытаний, связанных с исследованием процессов испарения и изменения траектории движения капель тонкораспыленной воды в потоке высокотемпературных газов, и проведены полевые испытания в соответствии с ГОСТ Р 51057–2001 с использованием двух типов форсунок в условиях ветровой нагрузки.

2. Установлены оптимальные размеры капель воды (150–300 мкм), количество форсунок (3–5), необходимых для эффективного тушения очага возгорания размером  $1 \times 1,5$  м, а также их взаимное расположение. Капли воды размером 150–300 мкм проникали внутрь очага возгорания, практически не подвергаясь уносу, орошали горящую поверхность очага и охлаждали ее. За счет этого достигалось значительное снижение температуры в окрестностях модельного очага и вытеснение окислителя из зоны пожара.

3. Время подавления очага возгорания составило около 220 с, объем израсходованной на тушение



жидкости — 4,5 л. Для очагов возгорания с характерным размером  $1 \times 1,5$  м и мощностью тепловыделения 3,84 МВт этот результат можно считать вполне удовлетворительным.

4. При прохождении каплями воды расстояния около 1 м в высокотемпературных продуктах сгорания (модельного очага) с ростом их начальных размеров параметр  $\Delta R$  нелинейно уменьшается: для капель с начальным диаметром  $d_0 \approx 4$  мм значение параметра  $\Delta R$  составляло около 12 %, для капель с  $d_0 \approx 5$  мм — 9,5 %, для капель с  $d_0 \approx 6$  мм — 8 %.

Такой результат в целом достаточно хорошо коррелирует с результатами ранее проведенных лабораторных исследований.

\*\*\*

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект 14-08-00057). Анализ влияния характерного размера капель распыленных потоков на условия их испарения выполнен при финансовой поддержке стипендии Президента РФ для молодых ученых (СП-2290. 2015.1).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дешевых Ю. И. За год пожары уничтожают в России целый город со всей инфраструктурой // Безопасность. Достоверность. Информация. — 2010. — № 3(89). — С. 10–11.
2. Яницкий О. Н. Пожары 2010 г. в России: экосоциологический анализ // Социологические исследования. — 2011. — № 3. — С. 4–12.
3. Доррер Г. А., Якимов С. П., Васильев С. А. Прогнозирование динамики распространения лесных пожаров в России // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2010. — Т. 16, № 4. — С. 65–67.
4. 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.
5. Соколов В. В., Тугов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
6. Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
7. Виноградов А. Г. Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 64–73.
8. Виноградов А. Г. Методика расчета экранирующих свойств водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 45–56.
9. Виноградов А. Г. Применение теории затопленных струй к расчету параметров водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 76–87.
10. Саламов А. А. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. — 2012. — № 3. — С. 16–18.
11. Терпигорьев В. Водяной туман как средство защиты объектов культуры // Алгоритм безопасности. — 2006. — № 5. — С. 18–20.
12. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of the influence of convection in a mixture of combustion products on the integral characteristics of the evaporation of a finely atomized water drop // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2014. — Vol. 87, No. 1. — P. 103–111. DOI: 10.1007/s10891-014-0990-8.
13. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Испарение одиночных капель и потока распыленной жидкости при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Теплофизика высоких температур. — 2014. — Т. 52, № 4. — С. 597–604.
14. Волков Р. С., Жданова А. О., Стрижак П. А., Кузнецов А. Е., Москвитин Е. А. О роли распылительных устройств при тушении пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 3. — С. 42–60.
15. Стрижак П. А., Волков Р. С., Забелин М. В., Курисько А. С. Особенности испарения одиночных и полидисперсного потока капель воды в высокотемпературной газовой среде // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9-2. — С. 307–311.
16. Волков Р. С., Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное определение размеров капель водяного потока, уносимых высокотемпературными газами // Теплоэнергетика. — 2015. — № 8. — С. 50–56. DOI: 10.1134/S0040363615080093.
17. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование интегральных характеристик испарения пресной и соленой воды при движении через пламя // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 2. — С. 18–23.

18. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
19. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 9–17.
20. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
21. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 53–55.
22. Гришин А. М., Лобода Е. Л., Ерохонова А. А., Таныгина М. Н. Экспериментальное исследование критических условий перехода низового лесного пожара в верховой // Пожарная безопасность. — 2010. — № 1. — С. 120–125.
23. Перминов В. А., Алексеев Н. А., Кырмакова О. С. Математическое моделирование перехода низового лесного пожара в верховой // Контроль. Диагностика. — 2012. — № 13. — С. 179–182.
24. Janiszewski J. Measurement procedure of ring motion with the use of high-speed camera during electromagnetic expansion // Metrology and Measurement Systems. — 2012. — Vol. 19, No. 4. — P. 797–804.
25. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry // Measurement Science and Technology. — 1997. — Vol. 8, Issue 12. — P. 1379–1392. DOI: 10.1088/0957-0233/8/12/002.
26. Akhmetbekov Y. K., Alekseenko S. V., Dulin V. M., Markovich D. M., Pervunin K. S. Planar fluorescence for round bubble imaging and its application for the study of an axisymmetric two-phase jet // Experiments in Fluids. — 2010. — Vol. 48, No. 4. — P. 615–629. DOI: 10.1007/s00348-009-0797-0.

*Материал поступил в редакцию 2 сентября 2015 г.*

**Для цитирования:** Антонов Д. В., Волков Р. С., Забелин М. В., Пискунов М. В., Стрижак П. А. Экспериментальное определение времен подавления горения модельного очага лесного пожара тонкодисперсным каплевым потоком // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 14–23. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.14-23.

English

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE SUPPRESSION BURNING MODEL FOREST FIRES OF FINE DROPLET FLOW

**ANTONOV D. V.**, Student, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: dva14@tpu.ru)

**VOLKOV R. S.**, Candidate of Technical Sciences, Low Researcher of Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: romanvolkov@tpu.ru)

**ZABELIN M. V.**, Engineer of Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: zabelinmv@tpu.ru)

**PISKUNOV M. V.**, Postgraduate Student, Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: piskunovmv@tpu.ru)

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

### ABSTRACT

In this paper the main attention is paid to a problem of increase of efficiency of fire extinguishing mechanisms with using sprayed water, in particular, to studying of extinguishment times of burning of the model forest fire with use of a fine droplet flow.

The optimum sizes of sprayed water droplets, quantity of nozzles and their relative positioning which are required for the effective fire extinguishing are revealed with use of high-speed video registration equipment and panoramic optical methods. The reasons of emergence of the turning phenomenon of sprayed water droplets at extinguishment of ignitions are analyzed. The minimum extinguishment times of burning are defined. Comparison of researches results of single water droplets evaporation processes in the conditions of field tests (with use of model fire group) and when carrying out similar experiments in laboratory was executed. Rather satisfactory compliance of experimental data on liquid evaporation rates is revealed.

It is established that systematic errors of measurement of the water droplet sizes were no more than 0.03 mm, random — no more than 5.9 %. The maximum measurement error of extinguishment times didn't exceed 1 sec.

**Keywords:** flame; high temperature; gases; water spray; extinguishment; checkout; model fire.

## REFERENCES

1. Deshevyykh Yu. I. Za god pozhary unichtozhayut v Rossii tselyy gorod so vsey infrastrukturoy [Within a year fires destroy an entire city in Russia with all the infrastructure]. *Bezopasnost. Dostovernost. Informatsiya — Security. Reliability. Information*, 2010, no. 3(89), pp. 10–11.
2. Yanitsky O. N. Pozhary 2010 g. v Rossii: ekosotsiologicheskii analiz [Firebrands in Russia 2010: an ecosociological analysis]. *Sotsiologicheskkiye issledovaniya — Sociological Studies*, 2011, no. 3, pp. 4–12.
3. Dorrer G. A., Yakimov S. P., Vasilyev S. A. Prognozirovaniye dinamiki rasprostraneniya lesnykh pozharov v Rossii [Forecasting spread of forest fires in Russia]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Problems of Technosphere Risk Management*, 2010, vol. 16, no. 4, pp. 65–67.
4. 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.
5. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automated water fire-fighting system using water spray on power plants]. *Energetik — Power & Electrical Engineering*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
6. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspylennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity kabelnykh sooruzheniy AES [Usage of water mist to increase the fire precautions of cable structures at Atomic Power Stations]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2011, no. 4, pp. 61–64.
7. Vinogradov A. G. Uchet spektralnogo sostava teplovogo izlucheniya pri raschete koeffitsienta propuskaniya kapli vody [Accounting of thermal radiation spectral distribution at calculation of water droplet transmittance]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 9, pp. 64–73.
8. Vinogradov A. G. Metodika rascheta ekraniruyushchikh svoystv vodyanykh zaves [Calculation method of water curtain shielding properties]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 45–56.
9. Vinogradov A. G. Primeneniye teorii zatoplennykh struy k raschetu parametrov vodyanykh zaves [Application of the submerged jet theory to calculation of water curtain parameters]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 76–87.
10. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [Modern system of firefighting “water fog” of high-pressure]. *Energetik — Power & Electrical Engineering*, 2012, no. 3, pp. 16–18.
11. Terpigoryev V. Vodyanoy tuman kak sredstvo zashchity obyektov kultury [Water mist as a means of cultural objects protection]. *Algoritmy bezopasnosti — Security Algorithm*, 2006, no. 5, pp. 18–20.
12. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical investigation of the influence of convection in a mixture of combustion products on the integral characteristics of the evaporation of a finely atomized water drop. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2014, vol. 87, no. 1, pp. 103–111. DOI: 10.1007/s10891-014-0990-8.



13. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Evaporation of single droplets and dispersed liquid flow in motion through high-temperature combustion products. *High Temperature*, 2014, vol. 52, issue 4, pp. 568–575. DOI: 10.1134/S0018151X14030183.
14. Volkov R. S., Zhdanova A. O., Strizhak P. A., Kuznetsov A. E., Moskvilin E. A. O roli raspylitelnykh ustroystv pri tushenii pozharov [About the role of atomizing devices under the extinguishing of fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 3, pp. 42–60.
15. Strizhak P. A., Volkov R. S., Zabelin M. V., Kurisko A. S. Osobennosti ispareniya odinochnykh i poli-dispersnogo potoka kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Features of single and polydisperse flow water droplets evaporarion in high temperature gas area]. *Fundamentalnyye issledovaniya — Fundamental Research*, 2014, no. 9-2, pp. 307–311.
16. Volkov R. S., Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye opredeleniye raz-merov kapel vodyanogo potoka, unosimyykh vysokotemperaturnymi gazami [Experimental determi-nation of the droplet size in water flow, entrained by high-temperature gases]. *Teploenergetika — Thermal Engineering*, 2015, no. 8, pp. 50–56. DOI: 10.1134/S0040363615080093.
17. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye integralnykh kharakte-ristik ispareniya presnoy i solenoy vody pri dvizhenii cherez plamya [Experimental investigation of integrated evaporation characteristics for fresh and salty water at moving through the flame]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 2, pp. 18–23.
18. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at place-ments]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
19. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye raspredeleniya kapel vody v “vodyanom snaryade” na temperaturu v yego slede [Influence of water droplets distribution in the “water shell” on temperature in follow movement]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 9–17.
20. Korolchenko D. A. Izmeneniye kharakteristik goreniya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspy-lennoy vodoy [Changes in burning characteristics of the combustion liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
21. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. E. Vzaimodeystviye plameni goryuchey zhidkosti s tonkoraspylennoy vodoy [Combustible liquid flame and water mist interaction]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 53–55.
22. Grishin A. M., Loboda E. L., Yerokhonova A. A., Tanygina M. N. Eksperimentalnoye issledovaniye kriticheskikh usloviy perekhoda nizovogo lesnogo pozhara v verkhovoy [Exrerimental research of crit-ical transition conditions of surface forest fire to crown forest fire]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2010, no. 1, pp. 120–125.
23. Perminov V. A., Alexeev N. A., Kyrmakova O. S. Matematicheskoye modelirovaniye perekhoda nizo-vogo lesnogo pozhara v verkhovoy [Mathematical modeling of transition surface forest fire to the crown forest fire]. *Kontrol. Diagnostika — Testing. Diagnostics*, 2012, no. 13, pp. 179–182.
24. Janiszewski J. Measurement procedure of ring motion with the use of high speed camera during electro-magnetic expansion. *Metrology and Measurement Systems*, 2012, vol. 19, no. 4, pp. 797–804.
25. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry. *Measurement Science and Techno-logy*, 1997, vol. 8, issue 12, pp. 1379–1392. DOI: 10.1088/0957-0233/8/12/002.
26. Akhmetbekov Y. K., Alekseenko S. V., Dulin V. M., Markovich D. M., Pervunin K. S. Planar fluores-cence for round bubble imaging and its application for the study of an axisymmetric two-phase jet. *Experiments in Fluids*, 2010, vol. 48, no. 4, pp. 615–629. DOI: 10.1007/s00348-009-0797-0.

**For citation:** Antonov D. V., Volkov R. S., Zabelin M. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A. Eksperimen-talnoye opredeleniye vremen podavleniya goreniya modelnogo ochaga lesnogo pozhara tonkodis-persnym kapelnym potokom [Experimental determination of the suppression burning model forest fires of fine droplet flow]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 14–23. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.14-23.

# ОГНЕЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НЕОФЛЭЙМ® (NEOFLAME®)

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

© В. П. ПИМЕНОВА, канд. хим. наук (e-mail: pival888@rambler.ru)

**П**роблема защиты от огня была и остается одной из самых важных и актуальных на протяжении всего развития человечества. С бурным развитием технологического прогресса опасность пожаров растет практически в той же прогрессии. А пожар — это материальный ущерб, гибель людей и животных, угроза экологии. Горит практически все: древесина, бетон, полимерные конструкции. Под воздействием огня металлические конструкции теряют свою несущую способность. Чтобы этого избежать, требуется их огнезащита.

Среди средств пассивной огнезащиты металлоконструкций наиболее простым и удобным в реализации остается применение лакокрасочных материалов вспенивающегося типа: они выдерживают механические воздействия, вибрацию; не изменяют конфигурацию защищаемой конструкции; не оказывают дополнительной нагрузки на конструкции, так как наносятся на поверхность тонким слоем, как правило не более 2–3 мм. В условиях пожара тонкослойные огнезащитные покрытия вспениваются, увеличиваясь в объеме в несколько десятков раз и образуя пористый карбонизованный слой, который имеет низкую теплопроводность и защищает конструкцию от преждевременного нагрева до критической температуры 500 °С.

Преимуществом применения тонкослойной огнезащиты является метод нанесения: распыление, с помощью кисти или валика. При использовании агрегатов высокого давления производительность при выполнении работ по нанесению огнезащитных материалов весьма высока. К недостаткам подобных материалов можно отнести:

- высокую стоимость;
- ограничения по применению на пределы огнестойкости более 90 мин для зданий I и II степеней огнестойкости согласно Федеральному закону РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — ФЗ 123) и СП 2.13130.2012 “Обеспечение огнестойкости объектов защиты”.

Несмотря на это для металлоконструкций сложной конфигурации, когда конструктивная огнезащита может привести к неудобству в процессе эксплуатации покрытий, применение огнезащитных лакокрасочных материалов — вне конкуренции.

На протяжении многих лет наша компания производит известную многим потребителям огнезащитную краску торговой марки ВУП-2 для металлоконструкций, древесины и железобетона. Несмотря на то что

это одна из первых наших разработок в области огнезащиты, краска ВУП-2 в силу своих высоких технологических и эксплуатационных свойств находит широкое применение на всей территории России. Кроме ВУП-2, компания выпускает целый спектр огнезащитной продукции (табл. 1).

Следует отметить, что огнезащитные краски, образующие покрытия вспенивающегося типа, представляют собой очень сложные многокомпонентные композиции. Покрытия на их основе сочетают в себе, кроме огнезащитных, целый спектр свойств: защитные и декоративные, ударопрочность и эластичность — и должны сохранять огнезащитные свойства в процессе эксплуатации в течение установленного срока службы.

Техническими специалистами компании разработана серия огнезащитных материалов под торговой маркой НЕОФЛЭЙМ®:

- **для тонкослойной огнезащиты:**
  - краска огнезащитная водно-дисперсионная НЕОФЛЭЙМ®513 (NEOFLAME®513);
  - краска огнезащитная органорастворяемая НЕОФЛЭЙМ®514 Р (NEOFLAME®514 R);
- **для конструктивной огнезащиты:**
  - обмазка огнезащитная каолиновая НЕОФЛЭЙМ®515 (NEOFLAME®515);
  - состав толстослойный напыляемый НЕОФЛЭЙМ®516 Р (NEOFLAME®516 R).

Покрытие на основе краски НЕОФЛЭЙМ®513 является огнезащитным покрытием вспенивающегося типа (рис. 1). В условиях пожара покрытие образует пенококс с высокими теплоизолирующими свойствами и высокой механической прочностью, который защищает металлоконструкции от преждевременного нагрева и препятствует распространению пламени.

Этот высокоэффективный огнезащитный материал, позволяющий получить покрытие с огнезащитной эффективностью **45 мин** (5-я группа огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53295) при толщине сухого слоя **0,78 мм** при нанесении в один слой, вполне может конкурировать с известными и хорошо зарекомендовавшими себя импортными марками огнезащитных материалов, такими как Nullifire S-607, Nullifire S-707-60, Unitherm ADR.

В табл. 2 приведены огнезащитные характеристики покрытия НЕОФЛЭЙМ®513 в сравнении с некоторыми зарубежными и российскими конкурентами.

Высокие огнезащитные характеристики материала обусловлены техническим решением, основанным на применении высококачественного сырья ведущих

**Таблица 1.** Перечень огнезащитной продукции ООО «НПП Теплохим»

| Марка материала | Защищаемые конструкции                         | Огнезащитные характеристики                                                    |
|-----------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ВУП-2           | Металлоконструкции                             | До 90 мин                                                                      |
| ВУП-2 Д         | Конструкции из древесины                       | 1-я группа огнезащитной эффективности при расходе краски 0,3 кг/м <sup>2</sup> |
| ВУП-2 Б         | Бетонные и ж.-б. конструкции                   | REI150                                                                         |
| ВУП-2 К         | Электрокабели                                  | Предел распространения пламени не более 1,5 мм при толщине сухого слоя 0,6 мм  |
| ВУП-3 Р         | Металлоконструкции                             | До 90 мин                                                                      |
| НЕОФЛЭЙМ®513    | То же                                          | До 90 мин                                                                      |
| НЕОФЛЭЙМ®514 Р  | “                                              | До 120 мин                                                                     |
| НЕОФЛЭЙМ®515    | Металлоконструкции — конструктивная огнезащита | До 120 мин                                                                     |
| НЕОФЛЭЙМ®516 Р  | То же                                          | До 150 мин                                                                     |
| СПЛЕНД-30       | Воздуховоды                                    | EI30                                                                           |
| СПЛЕНД-60       | То же                                          | EI60                                                                           |
| СПЛЕНД-90       | “                                              | EI90                                                                           |
| СПЛЕНД-150      | “                                              | EI150                                                                          |
| Натрсил-С 541   | “                                              | В качестве клеящей мастики полотен и матов                                     |

**Рис. 1.** Покрытие НЕОФЛЭЙМ®513 толщиной 1 мм после испытания в условиях стандартного пожара

европейских производителей *Celanese, Clariant, BASF, Perstorp, BYK-Chemie, Munzing Chemie, CP Kelco* и на использовании на стадии разработки инструментальных методов исследований — метода дифференциально-сканирующей калориметрии, термогравиметрического метода, электронно-зондового рентгеновского микроанализа.

Результаты исследований при разработке огнезащитных материалов опубликованы в журналах:

- Ненахов С. А., Пименова В. П., Натейкина Л. И. Влияние наполнителей на структуру пенококса на основе полифосфата аммония // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 7. — С. 51–58;
- Ненахов С. А., Пименова В. П. Влияние концентрации газообразующего агента на закономерности развития пенококса огнезащитных составов //

**Таблица 2.** Огнезащитные характеристики покрытий вспенивающегося типа на основе водно-дисперсионных огнезащитных красок

| Покрытие           | Огнезащитная эффективность, мин |                         |                                  |         |                         |                                  |         |                         |                                  |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------|-------------------------|----------------------------------|---------|-------------------------|----------------------------------|
|                    | 45                              |                         |                                  | 60      |                         |                                  | 90      |                         |                                  |
|                    | ПТМ*, мм                        | Толщина сухого слоя, мм | Расход краски, кг/м <sup>2</sup> | ПТМ, мм | Толщина сухого слоя, мм | Расход краски, кг/м <sup>2</sup> | ПТМ, мм | Толщина сухого слоя, мм | Расход краски, кг/м <sup>2</sup> |
| НЕОФЛЭЙМ®513       | 3,4                             | 0,78                    | 1,4                              | 3,4     | 1,12                    | 2,02                             | 4,2     | 1,74                    | 3,13                             |
|                    |                                 |                         |                                  |         |                         |                                  | 5,8     | 1,44                    | 2,6                              |
| Nullifire S-707-60 | 3,4                             | 0,75                    | 1,28                             | 3,4     | 1,25                    | 2,14                             | 5,51    | 1,14                    | 1,95                             |
| Unitherm ADR       | 3,4                             | 0,95                    | 1,6                              | –       | –                       | –                                | –       | –                       | –                                |
| Огракс В-СК-1      | 3,4                             | 0,9                     | 1,67                             | 3,4     | 1,3                     | 2,42                             | 5,8     | 1,7                     | 3,16                             |
| Джокер             | –                               | –                       | –                                | 3,4     | 1,66                    | –                                | 4,13    | 1,9                     | –                                |
|                    |                                 |                         |                                  |         |                         |                                  | 5,8     | 1,75                    | –                                |

\* ПТМ — приведенная толщина металла.



**Таблица 3.** Коэффициент теплопроводности при 25 °С теплоизоляционных материалов

| Материал              | Производитель            | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| Пенококс НЕОФЛЭЙМ®513 | ООО “НПП Теплохим”       | 0,034–0,038                            |
| МБОР-5                | ОАО “Тизол”              | 0,033                                  |
| Плита Технониколь     | Корпорация “Технониколь” | 0,035                                  |

Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 3. — С. 14–26;

- Ненахов С. А., Пименова В. П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония (обзор литературы) // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 11–58;
- Натейкина Л. И., Горнак А. В. Минимальная толщина огнезащитного покрытия вспенивающегося типа // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 4. — С. 32–34.

В процессе исследований показано, что теплопроводность пенококса на основе краски НЕОФЛЭЙМ®513 при 25 °С сопоставима с теплопроводностью известных теплоизоляционных материалов, применяемых для конструкционной огнезащиты (табл. 3).

На рис. 2 представлены фото образцов колонн двутаврового профиля с покрытием на основе НЕОФЛЭЙМ®513 до испытаний и при испытаниях в условиях стандартного пожара по ГОСТ Р 53295, на рис. 3 — термограмма нагрева испытуемого образца двутавра с покрытием НЕОФЛЭЙМ®513.

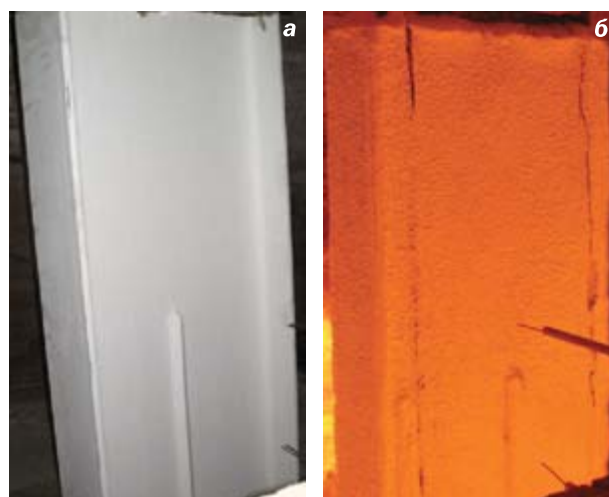
Испытания, выполненные по ГОСТ Р 53295 на колонне с ПТМ = 5,91 мм при толщине сухого слоя 2,02 мм, подтвердили высокие теплоизолирующие свойства пенококса и показали реальную огнезащитную эффективность покрытия НЕОФЛЭЙМ®513 — 115 мин.

В 2011 г. краска НЕОФЛЭЙМ®513 — одна из первых российских огнезащитных красок, сертифицированных в Киеве по стандарту ДСТУ Б В.1.1-17:2007 “Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Метод определения огнезащитной способности”, который является аналогом европейского стандарта ENV 13381-4:2002.

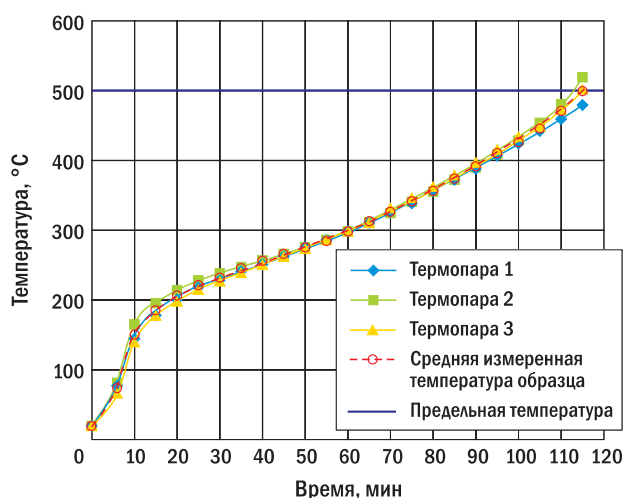
Результаты этих испытаний показали высокий уровень качества краски и квалификации разработчиков предприятия.

Основными достоинствами НЕОФЛЭЙМ®513 являются:

- высокая огнезащитная эффективность при малых толщинах сухого слоя;
- сохранение высоких огнезащитных свойств при воздействии переменных температур от минус 60 до +60 °С;
- сохранение высоких технологических свойств в течение всего срока хранения (12 мес);
- оптимизация стоимости 1 м<sup>2</sup> огнезащитных работ за счет возможности нанесения только одного



**Рис. 2.** Вид колонн двутаврового профиля (ПТМ = 5,91 мм) с огнезащитным покрытием НЕОФЛЭЙМ®513 толщиной 2,02 мм до испытаний (а) и на 101-й минуте с начала испытаний (б)



**Рис. 3.** Термограмма нагрева образца двутавра (ПТМ = 5,91 мм) с покрытием НЕОФЛЭЙМ®513 толщиной 2,02 мм при испытаниях по ГОСТ Р 53295

слоя для достижения огнезащитной эффективности 45 мин;

- пожаровзрывобезопасность;
- экологическая безопасность;
- готовность к применению в состоянии поставки;
- образование эластичного и ударопрочного покрытия.

Для круглогодичного применения нами разработана огнезащитная органорастворяемая краска

**Таблица 4.** Огнезащитные характеристики покрытий вспенивающегося типа на основе органорастворимых смол

| Покрытие        | Огнезащитная эффективность, мин |                         |                                  |         |                         |                                  |         |                         |                                  |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------|-------------------------|----------------------------------|---------|-------------------------|----------------------------------|
|                 | 45                              |                         |                                  | 60      |                         |                                  | 90      |                         |                                  |
|                 | ПТМ, мм                         | Толщина сухого слоя, мм | Расход краски, кг/м <sup>2</sup> | ПТМ, мм | Толщина сухого слоя, мм | Расход краски, кг/м <sup>2</sup> | ПТМ, мм | Толщина сухого слоя, мм | Расход краски, кг/м <sup>2</sup> |
| НЕОФЛЭЙМ®514 Р  | 3,4                             | 0,85                    | 1,45                             | 3,4     | 1,19                    | 2,03                             | 4,2     | 1,96                    | 3,35                             |
| Nullifire S-706 | 3,4                             | 0,95                    | 1,72                             | –       | –                       | –                                | –       | –                       | –                                |
| Unitherm ASR    | 3,4                             | 1,00                    | 1,70                             | 4,1     | 1,15                    | 1,95                             | 6,1     | 2,20                    | 3,79                             |
| Оргакс С-СК-1   | 3,4                             | 0,90                    | 1,36                             | 3,4     | 1,25                    | 1,89                             | 5,8     | 1,65                    | 2,49                             |

НЕОФЛЭЙМ®514 Р, которая образует огнезащитное покрытие также вспенивающегося типа. Она разработана с целью применения системы покрытия на ее основе в условиях открытой атмосферы с защитным покрытием.

Огнезащитные характеристики этого материала в сравнении с конкурентными материалами представлены в табл. 4.

Основными достоинствами НЕОФЛЭЙМ®514 Р являются:

- высокая огнезащитная эффективность при малых расходах краски;
- сохранение огнезащитных свойств при воздействии переменных температур от минус 60 до +60 °С;
- сохранение технологических свойств в течение всего срока хранения (12 мес);
- готовность к применению в состоянии поставки;
- морозостойкость;
- возможность круглогодичного применения;
- возможность эксплуатации в атмосферных условиях;
- образование эластичного и ударопрочного покрытия.

Когда мы говорим об огнезащите металлоконструкций, то, как правило, имеем в виду систему, состоящую из нескольких покрытий различной функциональности. Получается комплексная система покрытий (рис. 4), которая должна обеспечить:

- антикоррозионную защиту металла в процессе эксплуатации;
- огнезащиту металла в условиях пожара;
- защиту от эксплуатационных воздействий и декоративные свойства защищаемой конструкции.

Наши огнезащитные краски сертифицированы, кроме традиционных схем с грунтовкой ГФ-021, в комплексе с антикоррозионными грунтовками и защитными лакокрасочными материалами ведущих производителей антикоррозионных материалов — компаний HEMPEL и JOTUN:

- PENGUARD EXPRESS + ВУП-2;
- Pilot QD Primer + ВУП-2 + Pilot II;
- Pilot QD Primer + НЕОФЛЭЙМ®513 + ПФ-115;
- Pilot QD Primer + НЕОФЛЭЙМ®513 + Pilot II;
- HEMPAQUICK PRIMER 13300 + НЕОФЛЭЙМ®513 + HEMPATHANE HS 55610;
- ГФ-021 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + Pilot II;

**Рис. 4.** Система комплексного покрытия

- HEMPAQUICK PRIMER 13624 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + HEMPATHANE HS 55610;
- HEMPADUR FAST DRAY 15560 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + HEMPATHANE HS 55610;
- HEMPADUR FAST DRAY 15560 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + HEMPATHANE HS 55610;
- HEMPADUR 15570 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + HEMPATHANE HS 55610;
- HEMPAQUICK PRIMER 13624 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + HEMPATHANE HS 55610;
- ГФ-021 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + HEMPATHANE HS 55610.

Внедрению огнезащитных материалов предшествуют ускоренные климатические испытания систем покрытий по ГОСТ 9.401–91, которые проводятся в аккредитованной испытательной лаборатории “ЛКП-Хотьково-Тест”. Для получения дополнительных сведений о корреляции результатов ускоренных испытаний с долговечностью покрытий в реальных условиях специалисты нашей компании регулярно проводят мониторинг поведения примененных систем на основе огнезащитных материалов ООО “НПП Теплохим” на различных объектах в реальных условиях эксплуатации.

На рис. 5–8 приведены фото некоторых объектов, на которых были применены наши огнезащитные материалы.

Сегодня у нас имеется информация по ряду объектов с различными сроками эксплуатации. Данные о состоянии покрытий на объектах анализируются для получения объективной информации об эксплуатационных свойствах покрытий:

- система покрытий ГФ-021 + ВУП-2, примененная для огнезащиты металлоконструкций в ТЦ “Ашан” (г. Москва, Осташковское ш.), эксплуатируется в течение 11 лет внутри помещения, причем дважды в год проводится влажная уборка защищенных



**Рис. 5.** Система покрытий НЕМРАQUICK PRIMER 13624 + НЕОФЛЭЙМ®514 Р + НЕМРАTHANE HS 55610 (Ленинградская обл., г. Усть-Луга, Морской торговый порт, эксплуатация 2 года в атмосферных условиях)



**Рис. 8.** Система покрытий ГФ-021 + ВУП-2 + ПФ-115 (Саратовская обл., пос. Юбилейный, Сельхозрынок, эксплуатация 6 лет)



**Рис. 6.** Система покрытий УХРА 1503 + ВУП-2 (г. Саратов, Автосалон Mercedes-Benz, эксплуатация 5 лет)



**Рис. 7.** Система покрытий ГФ-021 + НЕОФЛЭЙМ®513 (Тамбовская обл., пос. Мордово, строительство сахарного завода, 2012 г.)

конструкций. В настоящее время покрытие находится в удовлетворительном состоянии;

- система покрытий ГФ-021 + НЕОФЛЭЙМ®513 + ХП-7120, примененная для огнезащиты металлоконструкций на заводе полипропилена (г. Омск), эксплуатируется в течение 2 лет в условиях откры-

той атмосферы. На момент обследования дефектов на покрытии не обнаружено.

Федеральный закон № 123 при применении тонкослойной огнезащиты предусматривает ограничения на приведенные толщины металла — менее 5,8 мм для зданий I и II степеней огнестойкости. В данных условиях применяется только конструктивная огнезащита.

Конструктивная огнезащита металлоконструкций, как правило, предусматривает применение базальтовых полотен, минераловатных плит, штукатурных составов и т. п. Все эти материалы обладают определенными теплоизолирующими свойствами и обеспечивают в зависимости от их толщины определенную огнестойкость конструкции, но требуют при этом разработки специальной технологии монтажа.

С учетом требований ФЗ 123 и современного рынка огнезащиты нашими техническими специалистами разработаны для конструктивной огнезащиты 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, получаемых по инновационным технологиям, и наполнителей, позволяющих получить высокий абляционный эффект при воздействии высоких температур, обеспечивает получение высокотехнологичного огнезащитного покрытия с низкой теплопроводностью исходного покрытия, обеспечивающего необходимую огнезащиту в условиях стандартного пожара.

В настоящее время в производство запущен новый огнезащитный материал для конструктивной огнезащиты металлоконструкций с приведенной толщиной металла 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 успешно применяется на объектах



для конструктивной огнезащиты металлоконструкций с ПТМ < 5,8 мм.

Состав имеет высокие технологические свойства, что позволяет применять различные методы нанесения: с помощью кисти, шпателя или агрегатов высокого давления.

Отличительными достоинствами НЕОФЛЭЙМ®515 являются:

- обеспечение огнезащиты металлоконструкций до 120 мин;
- удобство и простота применения на объекте;
- толстослойное напыление при помощи АВД Wagner;
- низкая теплопроводность покрытия;
- пожаровзрывобезопасность при применении;
- возможность выполнения работ внутри помещений без принудительной вентиляции;
- высокая производительность при выполнении работ;
- реальный расход, обеспечивающий указанное в сертификате время огнезащиты;
- успешное применение на объектах.

На стадии сертификационных испытаний находится новый состав толстослойный напыляемый НЕОФЛЭЙМ®516 Р для конструктивной огнезащиты, огнезащитные свойства которого обусловлены тем же техническим решением, что и у состава НЕОФЛЭЙМ®515: применением наполнителей с низкой теплопроводностью, изготовленных по инновационным технологиям, и наполнителей, которые при нагревании в условиях стандартного пожара обеспечивают высокий абляционный эффект.

Отличительными достоинствами НЕОФЛЭЙМ®516 Р являются:

- уникальная возможность получения толстослойного покрытия за один слой при распылении с помощью АВД Wagner;
- толщина нестекающего мокрого слоя более 3000 мкм;
- обеспечение конструктивной огнезащиты металлоконструкций до 150 мин;
- низкая теплопроводность;
- низкий расход;
- легкость и привлекательный внешний вид конструкций;
- высокая производительность при выполнении работ;
- возможность транспортировки и выполнения работ при отрицательных температурах.

Следует отметить, что в последнее время на рынке огнезащитных материалов появилось значительное количество производителей огнезащитных красок вспенивающегося типа для тонкослойной огнезащиты и огнезащитных составов для конструктивной огнезащиты с низкой стоимостью и низким расходом материала для получения сухого покрытия толщиной 1 мм.

Производителям этой продукции хорошо известно, что неотъемлемой частью тонкослойного огнезащитного материала вспенивающегося типа являются полифосфат аммония, пентаэритрит и меламин импортного производства, вклад которых в сырьевую себестоимость составляет порядка 40 %. Для снижения себестоимости краски необходимо найти адекватную замену этим компонентам, что нереально без серьезных вложений в научно-исследовательские работы.

Это касается и пленкообразователей, содержание которых в огнезащитных красках ниже, чем в классических лакокрасочных материалах. В связи с этим для создания полноценного огнезащитного материала с определенными физико-механическими и защитными свойствами требуется связующее высокого качества с определенными требованиями к характеристикам пленкообразования. К этой группе относятся недешевые импортные связующие.

Что касается составов для конструктивной огнезащиты, то можно предположить, что на рынке появились, судя по заявленным производителями толщинам, “уникальные” материалы с нереальными физическими возможностями. Так, например, один из производителей огнезащитной обмазки Х на органическом растворителе заявляет огнезащитную эффективность 120 мин при толщине сухого слоя 5,12 мм для приведенной толщины металла 3,4 мм и 150 мин при толщине сухого слоя 5,6 мм для той же ПТМ. Таким образом, для достижения огнезащитной эффективности от 120 до 150 мин для ПТМ = 3,4 мм достаточно увеличить толщину сухого покрытия Х на 0,48 мм, что составляет 8,6 % от толщины покрытия для обеспечения огнезащиты 150 мин и входит в допустимый диапазон среднеквадратичного отклонения до 20 % при расчете толщины сухого покрытия по ГОСТ Р 53295 (п. 5.4.3). В данном случае однозначно можно сказать, что мы имеем дело с контрафактной продукцией.

Значительное снижение цены любого огнезащитного материала должно вызывать у потребителя потребность убедиться в качестве предлагаемой продукции, чтобы не оказаться заложником недобросовестного поставщика.

Следует еще раз подчеркнуть, что создание огнезащитного покрытия вспенивающегося типа с высокими адекватными огнезащитными характеристиками в сочетании с другими механическими и эксплуатационными свойствами или покрытия на основе инновационных технологий для конструктивной огнезащиты *возможно только при значительных инвестициях в разработку этого материала.*

В связи с этим появление на рынке дешевых огнезащитных материалов, в том числе зарубежного производства, создает определенный барьер для производителей качественной продукции, подрывает доверие потребителей ко всем производителям, косвенно влияя на объем рынка.



ISSE

INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

международный салон

# КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2016

Москва, ВДНХ,  
павильон № 75

**17-20 мая**

## Тематические разделы



Пожарная  
безопасность



Защита  
и оборона



Информационные  
технологии



Техника  
охраны



Средства  
спасения



Комплексная безопасность  
на транспорте



Безопасность  
границы



Экологическая  
безопасность



Ядерная  
и радиационная безопасность



Медицина  
катастроф



Промышленная  
безопасность



Материально-техническое  
обеспечение силовых структур

РЕКЛАМА

[WWW.ISSE-RUSSIA.RU](http://WWW.ISSE-RUSSIA.RU)

**В. И. ГОЛОВАНОВ**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

**В. В. ПАВЛОВ**, начальник сектора, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

**А. В. ПЕХОТИКОВ**, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

УДК 614.841.332:624.012.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Приведены результаты исследований огнестойкости большепролетных железобетонных балок, изготовленных по технологии постнапряжения с использованием напрягаемых арматурных канатов, заключенных в стальные каналообразователи, при условии теплового воздействия по температурному режиму стандартного пожара. Определены фактические пределы огнестойкости указанных железобетонных конструкций при огневых испытаниях и расчетом. Подтверждено предположение о том, что расчет предела огнестойкости железобетонных балок с постнапряженной арматурой можно проводить так же, как для обычных железобетонных конструкций, без учета предварительного напряжения в арматуре при условии наступления предельного состояния в результате образования пластического шарнира в середине пролета балки в нормальном сечении.

**Ключевые слова:** огнестойкость железобетонных конструкций; потеря несущей способности; пластический шарнир; температурный режим стандартного пожара.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38

В современной практике строительства широкое применение получили железобетонные большепролетные конструкции, возводимые по технологии постнапряжения. Использование данной технологии в строительстве позволяет существенно сократить сроки строительства, а также повысить надежность работы железобетонных конструкций.

Железобетонные конструкции обладают достаточно высокой огнестойкостью в отличие от стальных и деревянных. Огнестойкость железобетонных конструкций утрачивается в результате потери несущей способности из-за снижения прочности, теплового расширения и температурной ползучести арматуры и бетона при нагревании [1–6]. Потеря несущей способности изгибаемых элементов при огневом воздействии происходит в основном вследствие образования пластического шарнира в середине пролета в нормальном сечении по достижении критической температуры на рабочей арматуре [7–13].

Вместе с тем огнестойкость монолитных железобетонных конструкций с постнапряженной арматурой на настоящий момент изучена недостаточно. В связи с тем что данные конструкции предполага-

ется использовать на таком уникальном реконструируемом объекте, как стадион “Динамо”, было принято решение о проведении огневых испытаний железобетонных балок с постнапряженной арматурой на испытательной базе ВНИИПО МЧС России.

В соответствии с требованиями специальных технических условий на проектирование противопожарной защиты объекта Спортивный и концертно-развлекательный комплекс “ВТБ Арена — Центральный стадион «Динамо»” требуемый предел огнестойкости несущих строительных конструкций должен соответствовать R150.

Для проведения исследований железобетонных постнапряженных конструкций для реконструируемого стадиона “Динамо” были изготовлены опытные образцы балок непосредственно на строительных площадках г. Москвы по технологиям постнапряжения, разработанным французской и итальянской фирмами. Для проведения огневых испытаний каждой фирмой были изготовлены по два образца, характеристики которых представлены в табл. 1.

В процессе изготовления опытных образцов (по технологии постнапряжения) в арматурных вязаных



Таблица 1. Конструктивные характеристики опытных образцов

| Характеристика<br>опытного<br>образца | Габаритные<br>размеры<br>опытного<br>образца, мм | Длина рабочего пролета, мм | Характеристика арматурной стали;<br>количество продольных арматурных<br>стержней и канатов; нормативное<br>сопротивление арматуры $R_{sp}$ |                                                                                                                                             | Минимальная<br>толщина*<br>защитного<br>слоя бетона<br>до центра<br>тяжести<br>арматуры, мм |                  | Класс,<br>марка<br>бетона | Средняя влажность, % масс. | Нагрузка** без учета<br>собственного веса опытного<br>образца, кН (тс) | Начальный прогиб после<br>нагружения 1-го/2-го об-<br>разца, мм |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                       |                                                  |                            | ненапрягаемой                                                                                                                              | напрягаемой                                                                                                                                 | ненапря-<br>гаемой                                                                          | напряга-<br>емой |                           |                            |                                                                        |                                                                 |
| Балка<br>(фран-<br>цузская<br>фирма)  | 5700×400×400                                     | 5500                       | Периодического<br>профиля класса<br>A500С, марки ст3сп<br>Ø10 мм — 3 стерж-<br>ня в нижней зоне<br>и 2 — в верхней;<br>500 МПа             | Семипрово-<br>лочные канаты<br>класса K1700,<br>Ø15,7 мм из про-<br>волоки Ø5 мм —<br>3 каната в двух<br>каналообразова-<br>телях; 1475 МПа | 65                                                                                          | 70               | B40,<br>П4F300W14         | 3,5                        | 217,5<br>(22,2)                                                        | 8,0/8,0                                                         |
| Балка<br>(италь-<br>янская<br>фирма)  | 5700×400×400                                     | 5500                       | Периодического<br>профиля класса<br>A500С, марки ст3сп<br>Ø10 мм — 4 стерж-<br>ня в нижней зоне<br>и 3 — в верхней;<br>500 МПа             | Семипроволоч-<br>ные канаты<br>класса K1700,<br>Ø15,7 мм из про-<br>волоки Ø5 мм —<br>3 каната в одном<br>каналообразова-<br>теле; 1475 МПа | 65<br>и 85                                                                                  | 70<br>и 180      | B40,<br>П4F300W14         | 3,0                        | 148,48<br>(15,14)                                                      | 7,5/8,0                                                         |

\* С нижней и боковых сторон балки.

\*\* Нагрузка равномерно распределена по четырем точкам по длине рабочего пролета балки.

каркасах, выполненных из стержневой арматуры периодического профиля, устанавливали стальные каналообразователи из тонколистовой оцинкованной стали: два — для балок, изготовленных по французской технологии, и один — по итальянской.

В качестве примера на рис. 1 и 2 представлена схема армирования и расположения каналообразователей по сечению опытного образца балки, изготовленного по итальянской технологии постнапряжения.

Арматурные канаты, предназначенные для создания в опытных образцах проектных напряжений, протягивались через каналообразователи, по обоим концам которых производилась установка устройств, обеспечивающих передачу напряжения на бетон конструкции.

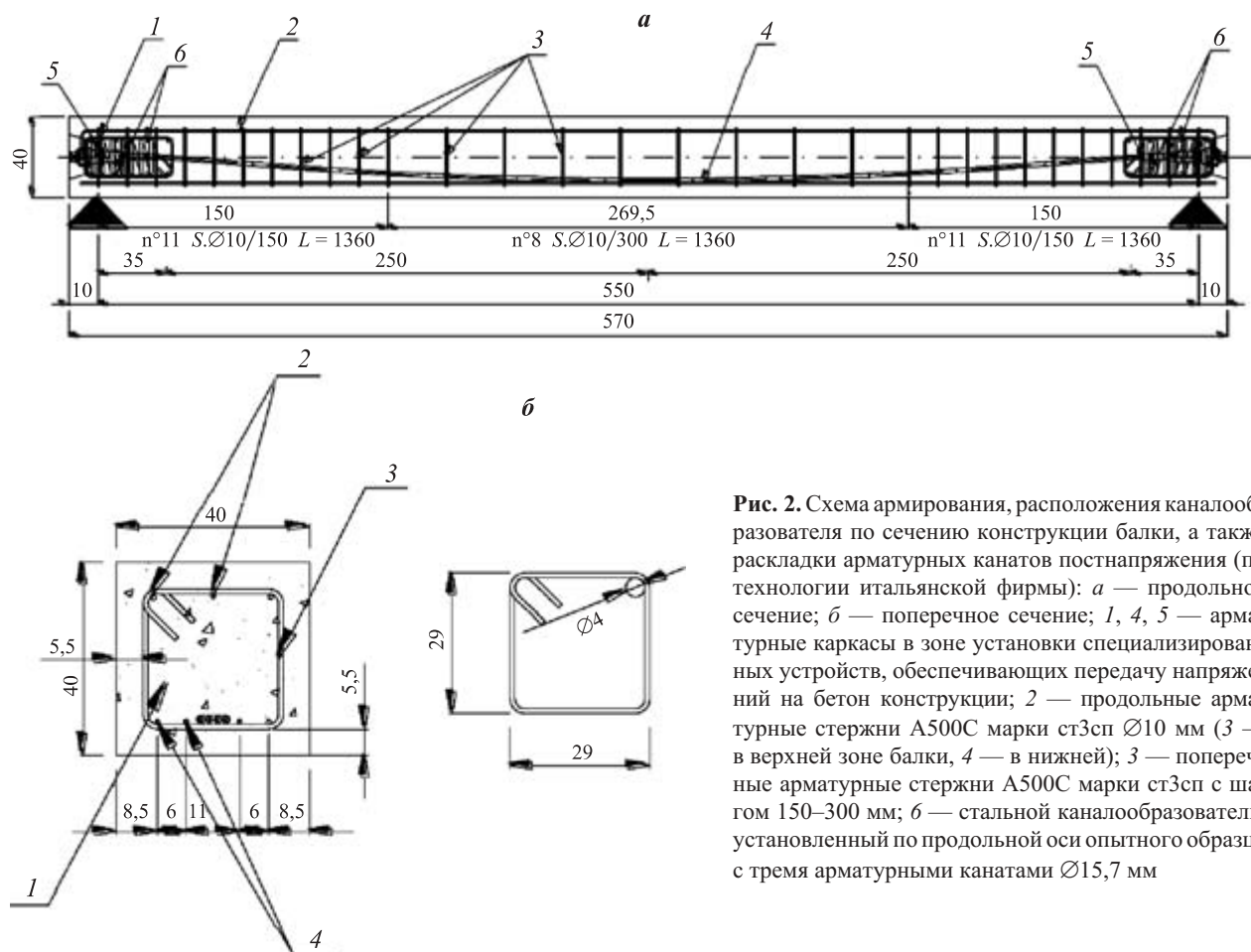
После укладки бетонной смеси в опалубочные элементы опытных образцов и достижения бетоном проектной передаточной прочности производилось натяжение канатов с помощью гидравлических домкратов, после чего канаты закреплялись в удерживающих приспособлениях, что обеспечивало связь между бетоном и напрягающими элементами, а также проектные напряжения обжата бетона в растянутой зоне конструкции. Пустоты каналообразователей заполнялись раствором, подаваемым через специальные трубки под давлением, что обеспечи-



Рис. 1. Арматурный каркас опытного образца балки перед бетонированием (по технологии итальянской фирмы): в опалубочную форму установлены продольные и поперечные стержни ненапрягаемой арматуры, а также каналообразователь с протянутыми арматурными канатами при использовании технологии постнапряжения

вало сцепление армирующих канатов с бетоном испытываемых конструкций.

В процессе изготовления опытных образцов балок для замера температуры в бетоне и на арматуре устанавливались термопары, показания которых автоматически регистрировались в ходе проведения огневых испытаний.



**Рис. 2.** Схема армирования, расположения каналаобразователя по сечению конструкции балки, а также раскладки арматурных канатов постнапряжения (по технологии итальянской фирмы): а — продольное сечение; б — поперечное сечение; 1, 4, 5 — арматурные каркасы в зоне установки специализированных устройств, обеспечивающих передачу напряжений на бетон конструкции; 2 — продольные арматурные стержни А500С марки ст3сп Ø10 мм (3 — в верхней зоне балки, 4 — в нижней); 3 — поперечные арматурные стержни А500С марки ст3сп с шагом 150–300 мм; 6 — стальной каналаобразователь, установленный по продольной оси опытного образца с тремя арматурными канатами Ø15,7 мм

На основании проведенных заказчиком физико-механических испытаний арматуры установлено, что временное сопротивление арматурных напрягаемых канатов составляет 1665–1860 МПа, арматурных стержней ненапрягаемой арматуры — 500 МПа, арматурной проволоки класса Вр-II — 1570 МПа. В целом результаты испытаний показали, что по нормируемым характеристикам данные арматурные стали соответствуют требованиям, предъявляемым к арматурной стали классов А500 и К1700 соответственно для стержневой и канатной семипроволочной арматуры.

На момент проведения испытаний возраст бетона образцов составлял более 28 сут. Прочность бетона определялась при испытаниях контрольных кубов и соответствовала классу В40.

Влажность бетона опытных образцов контролировалась перед каждым испытанием и измерялась при помощи влагомера ВСКМ-12У, имеющего глубину зоны контроля 20–50 мм. Влажность для всех образцов составляла не более 3,5 %.

Образцы железобетонных конструкций помещались на испытательную установку с опиранием на шарнирно-подвижную и шарнирно-неподвижные опоры с расстоянием от центра опор до краев опытных образцов 100–150 мм. Таким образом, рабочие

пролеты опытных образцов железобетонных балок составляли 5500 мм.

Опытные образцы балок испытывались под воздействием постоянной сосредоточенной нагрузки в четырех точках рабочих пролетов железобетонных конструкций.

Передача проектной нагрузки на балки и плиты осуществлялась с помощью системы нагружения, имеющей в своем составе гидравлический домкрат мощностью 2000 кН, приспособление для приложения нагрузки к опытному образцу, а также стальную раму для восприятия нагружающего усилия. Нормативные нагрузки на опытные образцы, указанные в табл. 1, устанавливались за 60 мин до начала огневых испытаний и поддерживались постоянными (с точностью не менее  $\pm 5$  %) в течение всего времени испытаний.

Прогибы опытных образцов железобетонных конструкций измеряли в ходе нагружения и проведения огневых испытаний при помощи прогибомера МП-3. Начальные прогибы (до огневых испытаний) железобетонных конструкций после приложения нагрузок указаны в табл. 1.

Согласно п. 7.4 ГОСТ 30247.1–94 опытный образец балки подвергался трехстороннему тепловому воздействию. Испытания всех опытных образцов

железобетонных конструкций проводились по температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0–94 (единая температурная кривая ЕТК).

Температура в огневой камере печи измерялась термопарами, равномерно распределенными по длине и ширине образцов, в шести точках. В процессе испытаний проводилась регистрация показаний термопар, установленных на арматурных каркасах, по высоте сечения опытных образцов.

Испытания конструкций проводились до наступления предельного состояния образцов по потере несущей способности (R), в соответствии с требованиями табл. 21 приложения Федерального закона № 123 и п. 8.2 ГОСТ 30247.1–94. Согласно техническому заданию заказчика время огневого воздействия на балки, изготовленные по технологии французской фирмы, ограничивалось 185 мин, а в эксперименте с балками, изготовленными по технологии итальянской фирмы, — 155 мин.

При влажности бетона менее 3,5 % хрупкого разрушения железобетонных конструкций не происходило.

Поведение опытных образцов балок, изготовленных по технологии французской фирмы, в ходе испытаний характеризовалось следующими особенностями:

- на 30–35-й минутах испытания зафиксировано незначительное выпаривание влаги по торцам железобетонных балок;
- в дальнейшем видимых изменений, за исключением роста прогиба, в состоянии образцов не зафиксировано;
- на 185-й минуте огневого воздействия обрушения образцов железобетонных балок не произошло, прогиб составил 86,5 и 92,3 мм для 1-го и 2-го образцов соответственно;
- средняя температура по показаниям термопар, установленных на арматурных канатах, составила 380 °С.

Поведение опытных образцов балок, изготовленных по технологии итальянской фирмы, в ходе испытаний характеризовалось следующими особенностями:

- на 25–30-й минутах испытания зафиксировано незначительное выпаривание влаги по торцам железобетонных балок;
- в дальнейшем видимых изменений, за исключением роста прогиба, в состоянии образцов не зафиксировано;
- на 155-й минуте огневого воздействия обрушения образцов железобетонных балок не произошло, прогиб составил 96,5 и 94,2 мм для 1-го и 2-го образцов соответственно;

- средняя температура по показаниям термопар, установленных на арматурных канатах, составила 350 °С.

В результате визуального осмотра железобетонных конструкций после снятия опытных образцов с испытательной установки установлено следующее:

- на верхней горизонтальной поверхности железобетонных балок отмечено наличие нитевидных трещин, расположенных перпендикулярно к продольным осям балок с шагом 300–400 мм по длине конструкции;
- значительного повреждения необогреваемой поверхности балок не зафиксировано;
- обогреваемая поверхность нижних и боковых частей балок разрушена практически по всей длине рабочих пролетов балок на глубину (в отдельных местах опытных образцов) до продольных ненапрягаемых арматурных стержней;
- разрыва арматурных канатов и продольных стержней ненапрягаемой арматуры в нижней зоне не зафиксировано.

После снятия испытательной нагрузки и остывания опытных образцов наблюдалось постепенное восстановление конструкции, которое характеризовалось уменьшением деформации (прогиба) железобетонной балки.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что фактический предел огнестойкости железобетонных балок по потере несущей способности (R) по классификации ГОСТ 30247.0–94 (п. 10) соответствует:

- для железобетонной балки (технология французской фирмы), испытанной под действием постоянной статической нагрузки 217,5 кН без учета собственного веса, распределенной по четырем точкам рабочего пролета балки, — R180;
- для железобетонной балки (технология итальянской фирмы), испытанной под действием постоянной статической нагрузки 148,48 кН, распределенной по четырем точкам рабочего пролета балки, — R150.

#### **Аналитическая оценка огнестойкости железобетонной балки, изготовленной по технологии итальянской фирмы**

Расчет несущей способности железобетонной балки, изготовленной по технологии итальянской фирмы, проводился при воздействии температурного режима стандартного пожара в течение 150 мин в целях сравнения результатов эксперимента и расчета.

Анализ экспериментальных данных по огневым испытаниям двух балок в течение 150 мин показал, что средняя температура в трех канатах из проволоочной арматуры составила 350 °С, а прогиб — 95,4 мм, что дает основание говорить о полной по-



тере предварительного напряжения [14, 15]. Расчет огнестойкости проводим исходя из того, что потеря несущей способности железобетонной балки произойдет в результате образования пластического шарнира по нормальному сечению в середине пролета.

Вследствие этого на основании анализа ранее проведенных исследований и данных других авторов предполагаем, что предварительное напряжение арматуры не оказывает влияния на огнестойкость изгибаемых конструкций. Таким образом, расчет предела огнестойкости железобетонной балки по потере несущей способности проводим так же, как для обычной изгибаемой конструкции. Расчет выполняем без учета влияния стержневой арматуры на несущую способность балки, что идет в запас при оценке огнестойкости. Исходные данные для расчета принимаем в соответствии с табл. 1. Изгибающий момент при нормативной нагрузке в середине пролета балки  $M_n = 152 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

На рис. 3 показано расчетное сечение балки с расположением стальных предварительно напряженных канатов.

Теплотехническую задачу определения температур прогрева бетона и арматуры, а также несущую способность балки при воздействии температурного режима стандартного пожара решали используя готовую программу.

На рис. 4 и 5 представлены температурные поля в расчетном сечении по осям  $z$  и  $y$  при 150-минутном воздействии режима стандартного пожара.

Изменение коэффициента запаса прочности сечения балки  $\gamma_u$  при воздействии температурного режима стандартного пожара  $T$  и нормативной нагрузки представлено в табл. 2. Коэффициент  $\gamma_u$  рассчитываем по формуле

$$\gamma_u = M_{p,t} / M_n,$$

где  $M_{p,t}$  — несущая способность сечения при огневом воздействии,  $\text{кН}\cdot\text{м}$ .

Принимаем, что данные по прогреву защитного слоя бетона до центра арматуры имеют одинаковые показатели с прогревом арматуры. В результате расчета прогрева балки по режиму стандартного пожа-

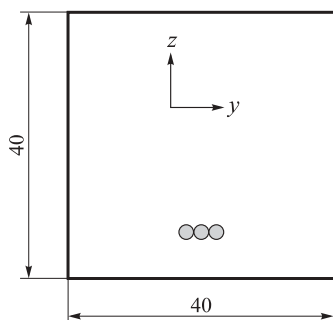


Рис. 3. Расчетное сечение балки с расположением стальных предварительно напряженных канатов

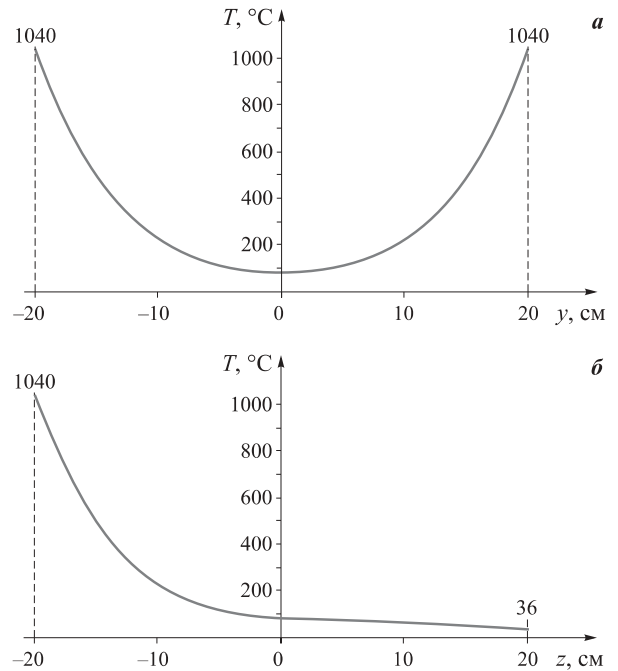


Рис. 4. Температура  $T$  в расчетном сечении по осям  $y$  (а) и  $z$  (б)

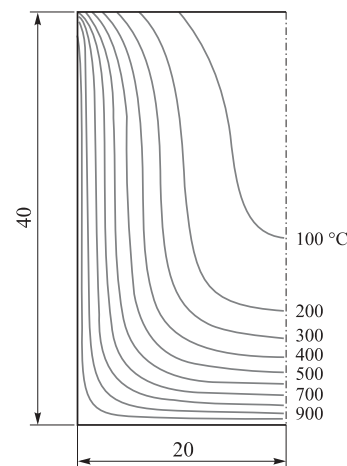


Рис. 5. Изотермы в расчетном сечении

ра в течение 150 мин получаем, что средняя температура арматурных канатов при защитном слое бетона 70 мм составляет  $385 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Нагрузка, которую способно воспринимать сечение в середине пролета балки через 150 мин огнестойкого воздействия, превышает нагрузку, приложенную к балке с коэффициентом запаса  $\gamma_u = 1,406$  (см. табл. 2). Следовательно, несущая способность пролетного сечения обеспечена.

Таким образом, установлено, что расчетный предел огнестойкости железобетонной балки, изготовленной по технологии итальянской фирмы, с постнапряженной арматурой соответствует **R150**.

Для железобетонной балки, изготовленной по технологии французской фирмы, также был проведен расчет огнестойкости. Расчетный предел огнестойкости железобетонной балки с постнапряженной арматурой соответствует **R150**.

**Таблица 2.** Коэффициент запаса прочности сечения балки при нагреве  $\gamma_u$

| № п/п | Время огневого воздействия $t$ , мин | Температура $T$ , °C | $\gamma_u$ |
|-------|--------------------------------------|----------------------|------------|
| 1     | 0                                    | 20                   | 1,709      |
| 2     | 12                                   | 705                  | 1,711      |
| 3     | 24                                   | 809                  | 1,694      |
| 4     | 36                                   | 869                  | 1,686      |
| 5     | 48                                   | 912                  | 1,641      |
| 6     | 60                                   | 945                  | 1,596      |
| 7     | 72                                   | 973                  | 1,556      |
| 8     | 84                                   | 996                  | 1,521      |
| 9     | 96                                   | 1016                 | 1,495      |
| 10    | 108                                  | 1033                 | 1,472      |
| 11    | 120                                  | 1049                 | 1,452      |
| 12    | 132                                  | 1063                 | 1,431      |
| 13    | 144                                  | 1076                 | 1,412      |
| 14    | 150                                  | 1082                 | 1,406      |

## Заключение

1. Проведена работа по оценке огнестойкости железобетонных балок, изготовленных по технологиям французской и итальянской фирм, с постнапряженной арматурой.

2. Установлено, что нормируемый предел огнестойкости **R150** железобетонных балок, изготовленных по технологиям французской и итальянской фирм, сечением 400×400 мм с постнапряженной арматурой класса K1700 из семипроволочных канатов Ø15,7 мм при проектном классе бетона В40 и проектных параметрах нагрузок обеспечен.

3. Исследованиями подтверждено предположение о том, что расчет предела огнестойкости железобетонных балок с постнапряженной арматурой можно проводить так же, как для обычных железобетонных конструкций, без учета предварительного напряжения в арматуре при условии наступления предельного состояния в результате образования пластического шарнира в середине пролета балки в нормальном сечении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1988. — 143 с.
2. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Обеспечение огнестойкости несущих строительных конструкций // Пожарная безопасность. — 2002. — № 3. — С. 48–57.
3. Ройтман В. М., Голованов В. И. Необходимость технического регулирования огнестойкости зданий с учетом возможности комбинированных особых воздействий с участием пожара // Пожарная безопасность. — 2014. — № 1. — С. 86–93.
4. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Эффективность средств огнезащиты железобетонных блоков сборной обделки Лефортовских тоннелей // Пожарная безопасность. — 2004. — № 2. — С. 47–57.
5. Kordina K. Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen // Bautechnik. — 2003. — Vol. 80, Issue 5. — P. 327–338. DOI: 10.1002/bate.200302620.
6. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Метод определения эффективности средств огнезащиты железобетонных конструкций тоннельных сооружений // Пожарная безопасность. — 2005. — № 3. — С. 30–37.
7. Хасанов И. Р., Голованов В. И. Обеспечение огнестойкости строительных конструкций // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — М. : ВНИИПО, 2012. — С. 81–101.
8. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Экспериментальные и аналитические исследования огнестойкости сплошной бетонной плиты со стальной и композитной арматурой // Пожарная безопасность. — 2013. — № 2. — С. 44–51.
9. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Огнестойкость железобетонных изгибаемых конструкций, изготовленных по технологии постнапряжения // Пожарная безопасность. — 2014. — № 3. — С. 122–131.
10. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В. Защита железобетонных туннелей автодорожных тоннелей от хрупкого разрушения при пожаре // Пожарная безопасность. — 2008. — № 2. — С. 50–55.
11. Both C., Molag M. Safety aspects of tunnels // Proceedings of International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, December 1999.
12. Dehn F., Werther N., Knitl J. Großbrandversuche für den City-Tunnel Leipzig // Beton- und Stahlbetonbau. — 2006. — Vol. 101, Issue 8. — P. 631–636. DOI: 10.1002/best.200608186.
13. Werther N. Brandversuche an Tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-Nordtunnel in Madrid // Beton- und Stahlbetonbau. — 2006. — Vol. 101, Issue 9. — P. 729–731. DOI: 10.1002/best.200608187.

14. СТО 36554501-006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. — Введ. 01.11.2006. — М. : ФГУП НИЦ “Строительство”, 2006.
15. Фёдоров В. С., Левинский В. Е., Молчадский И. С., Александров А. В. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. — М. : Изд-во АСВ, 2009. — 408 с.

*Материал поступил в редакцию 31 августа 2015 г.*

**Для цитирования:** Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотилов А. В. Экспериментальные и аналитические исследования несущей способности большепролетных железобетонных балок при огневом воздействии // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38.

English

## EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL STUDIES OF THE BEARING CAPACITY LONG-SPAN REINFORCED CONCRETE DURING FIRE EXPOSURE

**GOLOVANOV V. I.**, Doctor of Technical Sciences, Main Researcher,  
All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia  
(VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation;  
e-mail address: vniipo@mail.ru)

**PAVLOV V. V.**, Head of Sector, All-Russian Research Institute for Fire  
Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region,  
143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo@mail.ru)

**PEKHOTIKOV A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Chief of Department,  
All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12,  
Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo@mail.ru)

### ABSTRACT

The paper presents the results of experimental and theoretical studies of bendable concrete structures reinforced with post-tensioning tendons placed into steel ducts, and regular unstressed rebars.

The behavior of concrete beam prototypes under standard temperature regimes was investigated. The actual limits of fire resistance of these prototypes for the loss of bearing capacity of the structure were determined.

On the basis of experimental data, it is shown that concrete structures reinforced with post-tensioning tendons placed into steel ducts, which provide traction reinforcement with concrete, have sufficiently high fire resistance limits.

This behavior can be explained by tendon placement on structure cross-section, which provides sufficient protective layers of concrete on the lower (stretched) zone, as well as endurance of post-stressed structures in stress-strain state, which excludes or minimizes development of cracks in the tension zone.

The experimental and analytical studies confirm the assumption that the calculation of the fire resistance of bendable post-tensioned concrete structures can be performed as for conventional ones, without taking into account pre-stress in the reinforcement, provided the limit state is formed at mid-span of the beam due to formation of a plastic hinge.

**Keywords:** fire resistance of concrete structures; loss of bearing capacity; plastic hinge; temperature of standard fire.

### REFERENCES

1. Yakovlev A. I. *Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruktsiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 143 p.
2. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Obespecheniye ognestoykosti nesushchikh stroitelnykh konstruktsiy [Fire resistance of load-carrying building constructions]. *Pozharnaya bezopasnost* — *Fire Safety*, 2002, no. 3, pp. 48–57.



3. Roytman V. M., Golovanov V. I. Neobkhodimost tekhnicheskogo regulirovaniya ognestoykosti zdaniy s uchetom vozmozhnosti kombinirovannykh osobyykh vozdeystviy s uchastiyem pozhara [Need for technical regulation of the buildings fire resistance taking into account the possible combined hazardous fire exposure]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2014, no. 1, pp. 86–93.
4. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Effektivnost sredstv ognezashchity zhelezobetonnykh blokov sbornoy obdelki Lefortovskikh tonneley [Efficiency of fire retardance of reinforced concrete slabs of precast lining of Lefortovo tunnels]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2004, no. 2, pp. 47–57.
5. Kordina K. Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen. *Bautechnik*, 2003, vol. 80, issue 5, pp. 327–338. DOI: 10.1002/bate.200302620.
6. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Metod opredeleniya effektivnosti sredstv ognezashchity zhelezobetonnykh konstruktsey tonnelnykh sooruzheniy [Method of determination of efficiency of fire retardance means for reinforced concrete constructions of tunnels under conditions]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2005, no. 3, pp. 30–37.
7. Khasanov I. R., Golovanov V. I. Obespecheniye ognestoykosti stroitelnykh konstruktsey [Fire resistance of building structures]. *Yubileyny sbornik trudov FGBU VNIPO MChS Rossii* [Anniversary Proceedings of All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012, pp. 81–101.
8. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Eksperimentalnyye i analiticheskiye issledovaniya ognestoykosti sploshnoy betonnoy plity so stalnoy i kompozitnoy armaturoy [Experimental and analytical researches into fire resistance of continuous concrete slab with steel and composite reinforcement]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 2, pp. 44–51.
9. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Ognestoykost zhelezobetonnykh izgibayemykh konstruktsey, izgotovlennykh po tekhnologii postnapryazheniya [Fire resistance of bendable reinforced concrete structures made by after stress technology]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2014, no. 3, pp. 122–131.
10. Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Zashchita zhelezobetonnykh tyubingov avtodorozhnykh tonneley ot khrupkogo razrusheniya pri pozhare [Protection of concrete tubing highway tunnels by brittle fracture during a fire]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 2, pp. 50–55.
11. Both C., Molag M. Safety aspects of tunnels. *Proceedings of the International Tunnel Fire and Safety Conference*, December, 1999. Rotterdam, 1999.
12. Dehn F., Werther N., Knitl J. Großbrandversuche für den City-Tunnel Leipzig. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2006, vol. 101, issue 8, pp. 631–636. DOI: 10.1002/best.200608186.
13. Werther N. Brandversuche an Tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-Nordtunnel in Madrid. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2006, vol. 101, issue 9, pp. 729–731. DOI: 10.1002/best.200608187.
14. *Standard of the organization 36554501-006–2006. Fire resistance of reinforced concrete structures code*. Moscow, Scientific Research Centre “Stroitelstvo” Publ., 2006 (in Russian).
15. Fedorov V. S., Levinskiy V. E., Molchadskiy I. S., Aleksandrov A. V. *Ognestoykost i pozharnaya opasnost stroitelnykh konstruktsey* [Fire behavior and fire danger of building designs]. Moscow, ASV Publ., 2009. 408 p.

**For citation:** Golovanov V. I., Pavlov V. V., Pekhotikov A. V. Eksperimentalnyye i analiticheskiye issledovaniya nesushchey sposobnosti bolsheproletnykh zhelezobetonnykh balok pri ognevom vozdeystvii [Experimental and analytical studies of the bearing capacity long-span reinforced concrete during fire exposure]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.31-38.

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

УДК 697.112.2

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОБЪЕМЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Показано, что многие тепловые задачи научного и прикладного характера нуждаются в информации о распределении температуры в газовой среде. Поскольку температурные поля могут быть нестационарными, то часто требуется знание динамики их изменения, однако существующие методы не всегда позволяют получить динамические характеристики изменения температурного поля. Рассмотрен метод построения температурного поля газовой среды в объеме помещения. Показано, что температура газовой среды в контрольных точках может определяться температурой поверхности датчика. Решена задача определения динамики изменения температурного поля по температуре поверхности датчика, выполненного в форме плоской пластины. Показана возможность определения точности значений температуры, получаемых в контрольных точках объема помещения.

**Ключевые слова:** температурное поле; нагрев плоской пластины; уравнение теплопроводности; метод Фурье; коэффициент теплоотдачи; коэффициент теплопроводности.

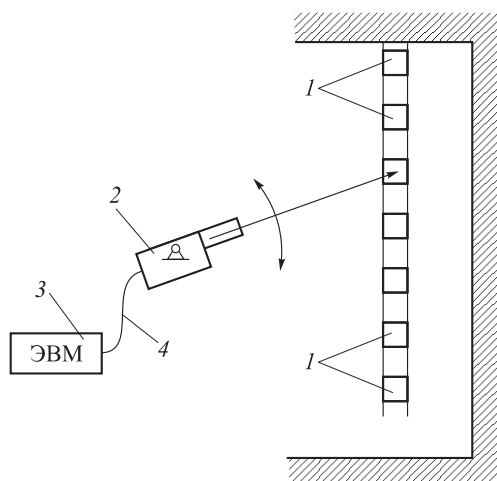
**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.39-44

Проблема определения температурного поля в объеме помещения возникает при исследовании и анализе параметров микроклимата в помещении, динамики изменения температурного режима в процессе развития пожара [1–3], состояния технологического теплового процесса и т. д.

На сегодняшний день известны различные методы построения температурного поля в некотором объеме газовой среды [4, 5]. Например, устройство для измерения температурного поля газового потока [6] включает преобразователь температуры и тепловизионную камеру. Преобразователь температуры выполнен в виде сетки из нитей, коэффициент теплопроводности которой приблизительно равен коэффициенту теплопроводности газовой среды. Температурное состояние преобразователя, соответствующее температурному состоянию газовой среды, фиксируется тепловизионной камерой. Изображение картины температурного поля подвергается обработке с целью получения его числовых значений. К сожалению, этот метод позволяет определять значения теплового поля только для высокотемпературных процессов, что, естественно, сужает область его применения. Кроме того, сложно получить в числовом представлении динамику изменения температурного поля, так как не все участки поверхности доступны для сканирования тепловизионной камерой. Иногда используются численные методы исследования температурных полей [7].

Существует способ измерения пространственного распределения температуры, а устройство для его реализации описано в [8]. Для измерения температуры в контрольных точках используются термочувствительные кварцевые датчики, проводники, генераторы качающейся частоты, контроллеры, устройства отображения информации. С помощью этого метода можно проследить динамику изменения температурного поля, но аппаратное оформление метода сложно и громоздко: каждый датчик должен быть гальванически соединен с генератором, контроллером и устройством отображения информации, что не всегда возможно в больших помещениях. Кроме того, каждый датчик должен пройти процедуру тарировки.

В целях повышения эффективности определения температурного поля в объеме помещения целесообразно в качестве датчиков температуры воздуха использовать не кварцевые датчики, а простые по конструкции, весьма тонкие (не более 0,1 мм) металлические пластины, которые располагают в контрольных точках. Измерение температуры осуществляется бесконтактным способом с помощью пирометра, позволяющего определить температуру газовой среды по температуре поверхности датчика, сформировать ее числовое значение в течение долей секунды и передать его в вычислительное устройство. На рис. 1 представлена конструктив-

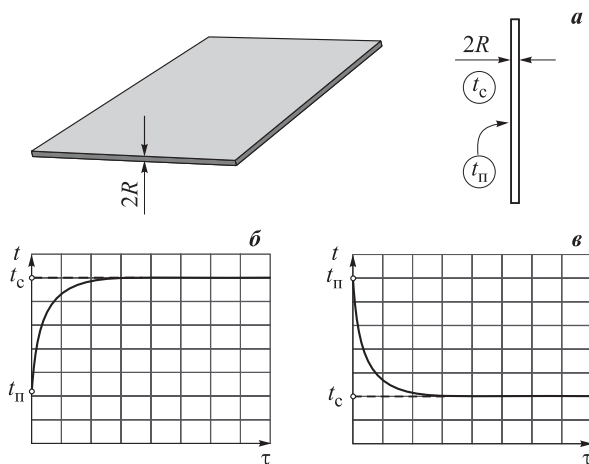


**Рис. 1.** Конструктивная схема устройства для измерения температурного поля в помещении: 1 — датчики (тонкие металлические пластины); 2 — пирометр; 3 — компьютер; 4 — соединительная шина

ная схема устройства для измерения температурного поля в помещении с разрезом последнего.

Этот способ определения температурного поля в объеме помещения реализуется следующим образом. Датчики помещают в контрольные точки в объеме помещения. Пирометр соединяют с ЭВМ и устанавливают в положение, из которого удобно последовательно сканировать поверхности всех датчиков. После сканирования полученные значения температуры передаются на ЭВМ, в которой фиксируются координаты положения датчиков, температуры их поверхностей и временной момент получения данных значений. Температура поверхности датчика соответствует температуре окружающей его среды. На рис. 2 показаны графики переходного процесса, т. е. характерного изменения температуры поверхности датчика. На графиках видно, что при любом соотношении начальной температуры поверхности датчика и температуры окружающей среды спустя некоторое время наступает равенство этих значений. Продолжительностью этого времени определяется точность получаемых результатов, поэтому необходимо минимизировать длительность переходного процесса.

Более детальный анализ изменения температуры датчика может быть проведен на основе математической модели температурного поля внутренней структуры датчика. С позиции моделирования датчик представляет собой достаточно тонкую пластину, у которой толщина намного меньше других конечных размеров, что допускает рассматривать ее как пластину неограниченной протяженности толщиной  $2R$  [9]. В начальный момент времени  $\tau$  пластину помещают в среду с постоянной температурой  $t_c$ . Начальная температура пластины  $t_n$ . При этом выполняется условие  $t_c > t_n$ . Между ограничивающими поверхностями пластины и окружающей средой про-



**Рис. 2.** Схема датчика в виде пластины (а) и графики изменения температуры на его поверхности при  $t_c > t_n$  (б) и  $t_n > t_c$  (в)

исходит теплообмен по закону Ньютона. Необходимо найти распределение температуры по толщине пластины, а также время, за которое достигается значение температуры на поверхности пластины, равное температуре окружающей среды, с погрешностью, не превышающей 5 %.

Запишем уравнение теплопроводности [9]:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $t(x, \tau)$  — распределение температуры по толщине пластины;

$x$  — координата;

$\tau$  — время;

$a$  — коэффициент температуропроводности;

$a = \lambda / (c_p \rho)$ ;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности;

$c_p$  — теплоемкость материала пластины;

$\rho$  — плотность материала пластины.

Введем в рассмотрение относительную температуру вида

$$T(x, \tau) = t_c - t(x, \tau). \quad (2)$$

Для расчетной схемы на рис. 3 приняты начальные условия  $x = \pm R$  и  $\tau = 0$ :

$$\left. \begin{aligned} t(\pm R, \tau = 0) &= t_n \\ T(\pm R, \tau = 0) &= T_0 = t_c - t_n \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где  $T_0$  — начальное значение относительной температуры.

Граничные условия основываются на предположении, что количество тепла, поступившего от окружающей среды к пластине, равно количеству тепла, распространяющегося по толщине пластины:

$$-\lambda \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} + \alpha [t_c - T(R, \tau)] = 0, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи.



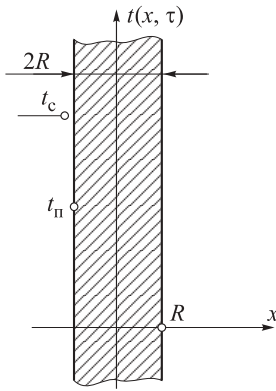


Рис. 3. Расчетная схема для определения распределения температуры в структуре тонкой пластины

С учетом (2) уравнение (1) примет вид:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Для решения уравнения (5), являющегося дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка, применим метод разделения переменных [9]. Решение уравнения (5) представим в виде произведения двух функций:

$$T(x, \tau) = X(x) K(\tau). \quad (6)$$

Подстановка (6) в (5) даст выражение

$$X(x) \frac{\partial K(\tau)}{\partial \tau} = a K(\tau) \frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2};$$

$$\frac{1}{K(\tau)} \frac{\partial K(\tau)}{\partial \tau} = \frac{a}{X(x)} \frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} = -k^2,$$

откуда получим два обыкновенных дифференциальных уравнения:

$$\frac{dK(\tau)}{d\tau} + k^2 K(\tau) = 0; \quad (7)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \frac{k^2}{a} X(x) = 0, \quad (8)$$

где  $k$  — произвольно выбранная константа.

Решениями уравнений (7) и (8) будут соответственно выражения [10, 11]:

$$K(\tau) = C_1 \exp(-k^2 \tau); \quad (9)$$

$$X(x) = C_2 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) + C_3 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right), \quad (10)$$

где  $C_1$ – $C_3$  — константы, которые в дальнейшем будут определены.

После подстановки (9) и (10) в (6) получим

$$T(x, \tau) = \exp(-k^2 \tau) \times \left[ B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) \right], \quad (11)$$

где  $B_1 = C_2 C_1$ ;  $B_2 = C_3 C_1$ .

Для определения констант в уравнении (11) учтем начальные условия (3) и запишем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T(R, 0) &= T_0 = \exp(-k^2 \cdot 0) \times \\ &\times \left[ B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) \right] \\ T(-R, 0) &= T_0 = \exp(-k^2 \cdot 0) \times \\ &\times \left[ B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} (-R)\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} (-R)\right) \right] \end{aligned} \right\},$$

откуда

$$B_1 = 0, \quad B_2 = \frac{T_0}{\cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right)}. \quad (12)$$

Для определения неизвестной величины  $k$  воспользуемся граничным условием (4), в котором определим входящие в него параметры:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} = -\exp(-k^2 \tau) \times \left[ B_1 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) \frac{k}{\sqrt{a}} - B_2 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) \frac{k}{\sqrt{a}} \right]; \quad (13)$$

$$T(R, \tau) = \exp(-k^2 \tau) \times \left[ B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) \right]. \quad (14)$$

Теперь с учетом (13) и (14) уравнение (4) можно записать в виде:

$$\lambda \exp(-k^2 \tau) \left[ B_1 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) \frac{k}{\sqrt{a}} - B_2 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} x\right) \frac{k}{\sqrt{a}} \right] + \alpha \left[ t_c - \exp(-k^2 \tau) \left[ B_1 \sin\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) + B_2 \cos\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) \right] \right] = 0. \quad (15)$$

Учитывая значения констант (12) и условия  $x = R$ ,  $\tau = 0$ , уравнение (15) запишем в виде

$$\frac{\lambda}{\alpha} \frac{k}{\sqrt{a}} \operatorname{tg}\left(\frac{k}{\sqrt{a}} R\right) = \frac{t_c - T_0}{T_0}. \quad (16)$$

Уравнение (16) можно записать в безразмерном виде, введя следующие замены: безразмерный комплекс  $\mu = (k/\sqrt{a}) R$ ; критерий Био  $Bi = (\alpha/\lambda) R$ ; безразмерная начальная температура теплового процесса  $\xi_t = (t_c - T_0)/T_0$ :

$$\operatorname{tg}(\mu) = \xi_t Bi / \mu. \quad (17)$$

Уравнение (17) является трансцендентным, но, учитывая малые значения искомой величины  $\mu$ , левую часть уравнения разложим в ряд:

$$\mu^4 + \mu^2 - 3\xi_t Bi = 0. \quad (18)$$

Решением уравнения (18) будет корень, дающий действительное, положительное значение  $\mu$ :

$$\mu = \left( \frac{1}{2} \sqrt{9 + 12\zeta_l Bi} - \frac{3}{2} \right)^{1/2}. \quad (19)$$

Из условия (2) имеем  $t(x, \tau) = t_c - T(x, \tau)$ . Тогда, учитывая (11), (12) и (19), можно записать искомое решение следующим образом:

$$t(x, \tau) = t_c - T_0 \exp\left(-\frac{\mu^2 a}{R^2} \tau\right) \frac{\cos\left(\mu \frac{x}{R}\right)}{\cos(\mu)}. \quad (20)$$

Изменение температуры на поверхности пластины определится при  $x = R$ , и уравнение (20) примет вид:

$$t(R, \tau) = t_c - T_0 \exp\left(-\frac{\mu^2 a}{R^2} \tau\right). \quad (21)$$

Для построения графика изменения температуры поверхности датчика были приняты параметры, представленные в таблице. По уравнению (21) с учетом данных таблицы построена графическая зависимость изменения температуры поверхности датчика (рис. 4). На этом графике показана также граница 5 %-ной погрешности достижения температуры среды в контрольной точке и, соответственно, время достижения этой границы.

Из уравнения (21) определим время достижения границы 5 %-ной погрешности:

$$\tau = -\frac{1}{\mu^2 a} \ln\left(0,05 \frac{t_c}{t_c - t_n}\right) R^2.$$

С учетом данных таблицы получим  $\tau = 0,26$  с.

Рассмотренный метод измерения температуры газовой среды в объеме помещения отличается неплохим быстродействием. Поверхность датчика нагревается до температуры окружающей его газовой среды за 0,26 с, т. е. частота отклика датчика на изменение температуры составляет  $0,26 \text{ с}^{-1}$ . Кроме того, нужно учесть время, затрачиваемое самим пирометром на формирование значения измеренной

Параметры датчика

| Параметр                                                  | Значение          |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|
| Материал                                                  | Алюминий          |
| Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                      | 2700              |
| Теплоемкость $c_p$ , Дж/(кг·К)                            | 930               |
| Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | 209               |
| Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)         | 203,5             |
| Толщина датчика $2R$ , м                                  | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| Температура среды $t_c$ , К                               | 70                |
| Начальная температура датчика $t_n$ , К                   | 20                |

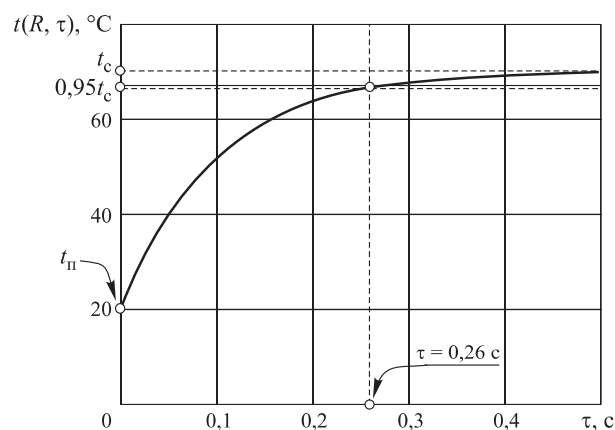


Рис. 4. Изменение температуры поверхности датчика  $t(R, \tau)$

на поверхности датчика температуры. Например, если в качестве пирометра использовать бесконтактные термометры фирмы TESTO с частотой измерений  $0,5 \text{ с}^{-1}$ , то общая частота измерений составит  $0,76 \text{ с}^{-1}$ . Таким образом, за 1 мин система сможет выполнить около 80 измерений, т. е. можно получить достаточно объективную картину динамики изменения температуры газовой среды в помещении. Эта информация может быть использована в системах контроля, сигнализации и управления пожарной безопасностью, а также в научных исследованиях, связанных с изучением тепловых процессов в газовых средах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурзинов В. Л., Паришин М. В., Паришина А. П. Моделирование температурного режима пожара с учетом работы вентиляции в негерметичном помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 6. — С. 56–60.
2. Мурзинов В. Л., Паришин М. В. Моделирование температуры в помещении при наличии открытого пламени в условиях свободной конвекции // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 28–33.
3. 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.
4. Zhang Y., Yang H. Temperature field and refrigeration output of thermoelectric arm // Advanced Materials Research. — 2012. — Vol. 374–377. — P. 508–511. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.374-377.508.

5. Shein E. V., Bannikov M. V., Troshina O. V., Churkina O. A. Temperature field of complex soilscares (by the example of the Vladimir opolie region) // Eurasian Soil Science. — 2009. — Vol. 42, No. 2. — P. 129–136. DOI: 10.1134/s1064229309020033.
6. Пат. 2230300 Российская Федерация. МПК G01K 13/02. Устройство для измерения температурного поля газового потока / Жилкин Б. П., Ларионов И. Д., Шуба А. Н.; заявитель и патентообладатель Жилкин Б. П., Ларионов И. Д., Шуба А. Н. — № 2002109369/28; заявл. 10.04.2002; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16. — 5 с.
7. Li Y. B., Zhou T., Huo Q. J., Yang X. Numerical simulation research of velocity and temperature fields in high temperature flow of liquid lead-bismuth eutectic // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 541–542. — P. 1333–1337. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.541-542.1333.
8. Заявка 2011150287/28 Российская Федерация. МПК G01K 7/00. Способ измерения пространственного распределения температуры и устройство для его осуществления / Селянин С. Г.; заявитель и патентообладатель Селянин С. Г.; заявл. 01.12.2011; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. — 6 с.
9. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967. — 400 с.
10. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — СПб.: Изд-во “Лань”, 2003. — 576 с.
11. Зайцев В. Ф., Полянин А. Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — М.: Физматлит, 2001. — 576 с.

*Материал поступил в редакцию 11 августа 2015 г.*

**Для цитирования:** Мурзинов В. Л. Метод построения температурного поля в объеме помещения // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 39–44. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.39-44.

English

## METHOD OF CONSTRUCTION OF THE TEMPERATURE FIELD IN VOLUME OF THE PREMISE

**MURZINOV V. L.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire and Industrial Department, Voronezh State University of Architecture and Construction (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: dr.murzinov@yandex.ru)

### ABSTRACT

The knowledge of a temperature field in volume of a premise is necessary at the analysis and researches of parameters of a microclimate, dynamics of a temperature mode of a fire, a condition of technological thermal process, etc. There are various methods of definition of a spatial temperature field of the gas environment in a premise. The most effective method is the method in which as gauges the thin plates possessing constructive simplicity are used. Thus the assumption is done, that the temperature of a surface of the gauges placed in control points is practically equal to temperature of the gas environment these points. The temperature of a surface of gauges is measured nonconductor with the help of a pyrometer. The offered assumption proves to be true mathematical model of heating of a thin plate in the gas environment of the set temperature. The equation of heating of a plate is received, and on the basis of this equation it is possible to define borders of an error of the measured temperature in control points. The value of this error depends on thickness of the gauge: the less thickness, the less value of an error, which can be taken temperature in control points fastly and more precisely.

**Keywords:** temperature field; heating of a flat plate; equation of heat conductivity, method Fourier; factor boiling heat; factor of heat conductivity.

### REFERENCES

1. Murzinov V. L., Parshin M. V., Parshina A. P. Modelirovaniye temperaturnogo rezhima pozhara s uchetom raboty ventilyatsii v negermetichnom pomeshchenii [Modeling of temperature in fire regimes with a view of the work of emergency ventilation in permeable environment]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 6, pp. 56–60.



2. Murzinov V. L., Parshin M. V. Modelirovaniye temperatury v pomeshchenii pri nalichii otkrytogo plameni v usloviyakh svobodnoy konveksii [Modeling of temperature in the room at presence of the open flame in conditions of free convection]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 28–33.
3. Esin V. M., Kalmykov S. P. Sravneniye kharakteristik 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.
4. Zhang Y., Yang H. Temperature field and refrigeration output of thermoelectric arm. *Advanced Materials Research*, 2012, vol. 374–377, pp. 508–511. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.374-377.508.
5. Shein E. V., Bannikov M. V., Troshina O. V., Churkina O. A. Temperature field of complex soilscares (by the example of the Vladimir opolie region). *Eurasian Soil Science*, 2009, vol. 42, no. 2, pp. 129–136. DOI: 10.1134/s1064229309020033.
6. Zhilkin B. P., Larionov I. D., Shuba A. N. *Ustroystvo dlya izmereniya temperaturnogo polya gazovogo potoka* [The device for measurement of a temperature field of a gas stream]. Patent RU, no. 2230300, 10.06.2004.
7. Li Y. B., Zhou T., Huo Q. J., Yang X. Numerical simulation research of velocity and temperature fields in high temperature flow of liquid lead-bismuth eutectic. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 541–542, pp. 1333–1337. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.541-542.1333.
8. Selyanin S. G. *Sposob izmereniya prostranstvennogo raspredeleniya temperatury i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* [Way of measurement of spatial distribution of temperature and the device for its realization]. Patent application RU, no. 2011150287/28, 10.06.2013.
9. Lykov A. V. *Teoriya teploprovodnosti* [The theory of heat conductivity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 400 p.
10. Kamke E. *Spravochnik po obyknovennym differentsialnym uravneniyam* [The directory on the ordinary differential equations]. Saint Petersburg, Izdatelstvo “Lan”, 2003. 576 p.
11. Zaytsev V. F., Polyanin A. D. *Spravochnik po obyknovennym differentsialnym uravneniyam* [The directory on the ordinary differential equations]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 576 p.

**For citation:** Murzinov V. L. Metod postroyeniya temperaturnogo polya v obyeme pomeshcheniya [Method of construction of the temperature field in volume of the premise]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 39–44. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.39-44.

## ГАДЖЕТ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ

Light Ball разрабатывался специально для пожарных. Новшество заключается в том, что шар не только подсвечивает темные места, но и поглощает дым. Такой подход должен помочь пожарным в продвижении в затемненных и задымленных местах и уменьшить количество несчастных случаев во время пожаров.

В ходе спасательной операции эти устройства помогут не только быстро осмотреть помещение, но и дать возможность самим потерпевшим заметить присутствие пожарных или найти путь к выходу из помещения.



<http://prolite.ru/2014/08/28/light-ball/>

**И. Н. КАРЬКИН**, канд. техн. наук, руководитель проекта "Pyrosim.ru"  
(Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 66-4; e-mail: mail@pyrosim.ru)

**С. В. СУБАЧЕВ**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры управления  
в кризисных ситуациях, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия,  
620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: sergey-subachev@yandex.ru)

**А. А. СУБАЧЕВА**, канд. пед. наук, доцент кафедры физики и теплообмена,  
Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22;  
e-mail: alla-subacheva@yandex.ru)

УДК 004.021:004.942

## АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ В FDS-ПРОЕКТАХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРА ИНТЕГРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Описан алгоритм, который применяется для идентификации помещений в модели здания, описываемой в формате полевой модели пожара FDS, и основан на анализе совокупностей пустот и препятствий в модели здания. Показано, что использование предлагаемого алгоритма позволит применять для расчета динамики опасных факторов пожара в здании интегральный метод, не прибегая к изменению исходного файла формата FDS, что значительно сократит временные затраты на проведение предварительных оценочных расчетов на компьютере при различных вариантах исходных данных.

**Ключевые слова:** моделирование пожара; FDS; полевая модель пожара; интегральная модель пожара; FIM; пожарный риск.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.45-53

Практика проведения расчетов пожарного риска и решения других задач по обеспечению пожарной безопасности в зданиях [1–3] показала, что при моделировании пожара с помощью полевой модели FDS (Fire Dynamics Simulator) [4] требуется значительное время на проведение расчетов. Продолжительность расчета на мощных серверных компьютерах может исчисляться сутками, а на персональных компьютерах выполнение расчета иногда вообще невозможно из-за недостатка оперативной памяти [5–7]. Кроме того, при решении многих задач пожарной безопасности необходимо выполнить несколько предварительных расчетов с различными исходными данными: объемно-планировочными решениями, параметрами работы противопожарных систем и др. [8, 9]. В таких случаях в целях сокращения времени расчета обычно прибегают к более простым моделям и упрощенным методикам [10–12], но это требует дополнительной разработки модели здания в соответствующих компьютерных программах и в формате, необходимом для применения этих методик.

Для оптимизации этого процесса нами разработан алгоритм, позволяющий из совокупности пустот и препятствий, описанных в формате полевой модели пожара FDS, выделить и описать в понятиях интегральной модели помещения, т. е. макрзоны, ограниченные стенами. Указанный алгоритм реализован

в программе FIM (Fire Integral Model) [13], с помощью которой проводится расчет динамики опасных факторов пожара в здании по интегральной модели, но при этом в качестве исходных данных принимается оригинальный входной файл формата FDS.

Во-первых, это позволяет значительно (в десятки раз) сократить временные затраты на проведение предварительных оценочных расчетов на компьютере, перед тем как запустить длительный расчет в FDS. Во-вторых, пользователю не нужно дополнительно разрабатывать модель здания в каком-либо другом формате, так как FIM считывает оригинальный исходный файл FDS, выполняет расчет динамики развития ОФП и генерирует аналогичные FDS выходные файлы, которые так же, как и при работе с полевой моделью, могут анализироваться в программах Smokeview [4], FireRisk [13] и др. Так, например, один раз построив модель в программе Pyrosim [13], можно выполнять расчет как в FDS, так и в FIM (рис. 1).

Топология модели в FDS может быть задана произвольными сочетаниями препятствий (OBST) и отверстий в них (HOLE). Например, топология помещения с дверью в окружающую среду может быть описана следующими способами:

- стены помещения заданы препятствиями, дверь — отверстием (рис. 2,а); на границах сетки со-

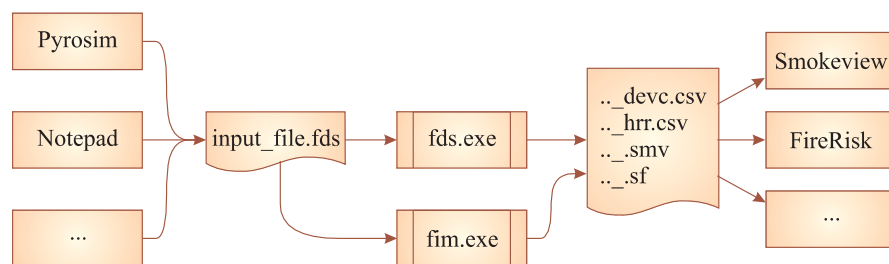


Рис. 1. Поток данных при моделировании пожара с помощью полевой и интегральной моделей

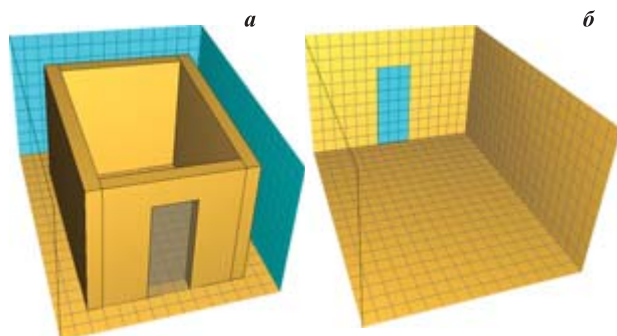


Рис. 2. Варианты создания топологии помещения с дверью в окружающую среду

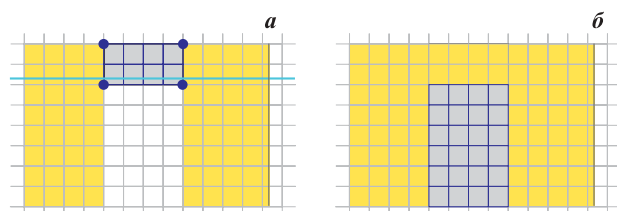


Рис. 3. Варианты задания проема в стене

зданы вентиляционные отверстия с поверхностью OPEN. По сути, моделируется помещение и часть окружающего пространства;

- стены помещения заданы границами сетки (рис. 2,б), дверь в окружающую среду — вентиляционным отверстием с поверхностью OPEN;
- возможны другие варианты: часть стен задана препятствиями, часть — границами сетки.

Многие комбинации препятствий и отверстий в них взаимозаменяемы. Например, на рис. 3 показаны два варианта задания проема в стене: 1) построением трех препятствий (см. рис. 3,а); 2) добавлением в препятствии отверстия (см. рис. 3,б).

Задача состоит в том, чтобы из перечисленных во входном файле FDS препятствий, отверстий и других объектов выделить и описать в понятиях интегральной модели помещения, т. е. макрозоны, ограниченные стенами.

### Описание алгоритма

Суть разработанного метода идентификации помещений состоит в следующем (рис. 4).

1. Начинается цикл, в котором координата  $z$  принимает значения от верхней до нижней границы расчетной сетки с шагом, равным размеру ячейки сетки.

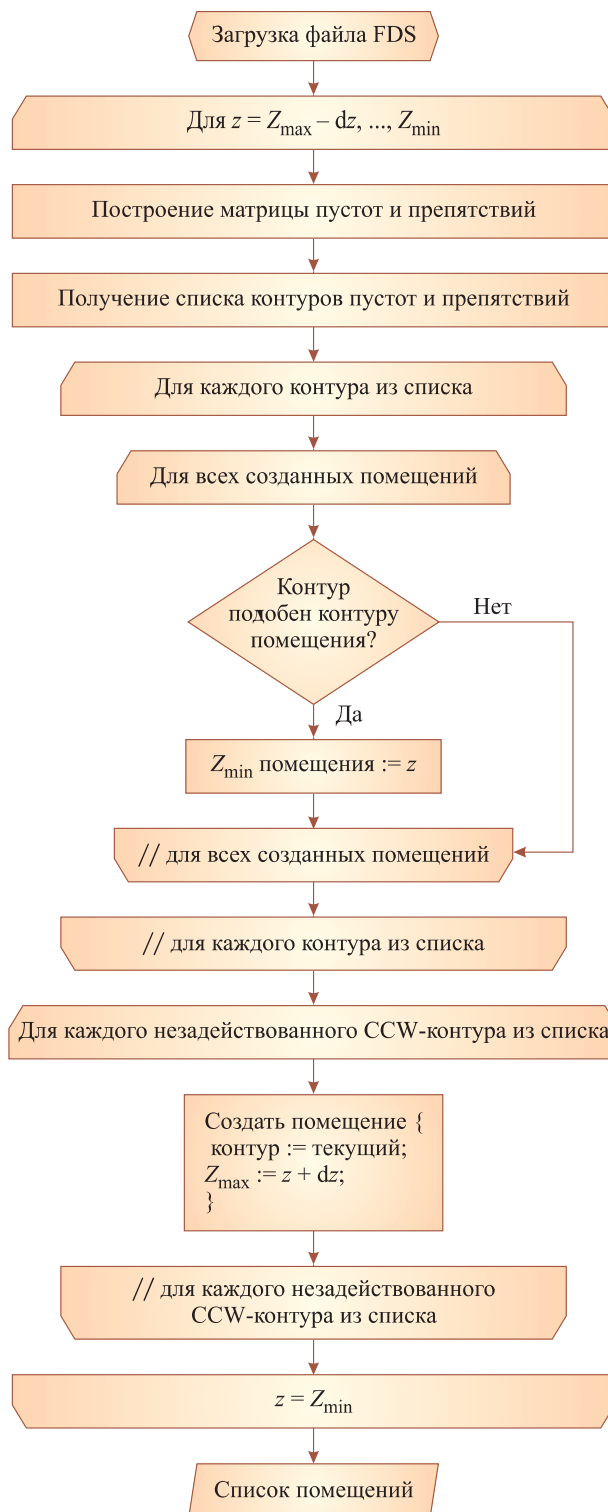
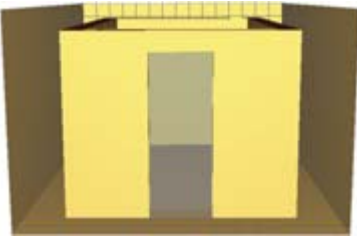
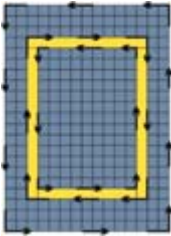
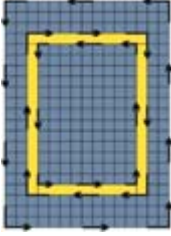
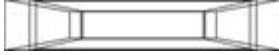
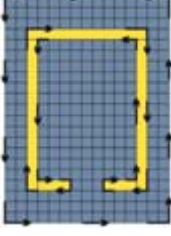
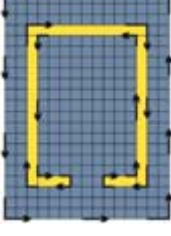
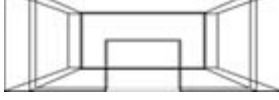
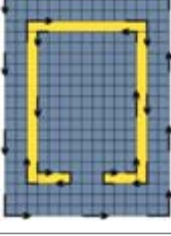
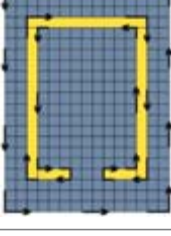
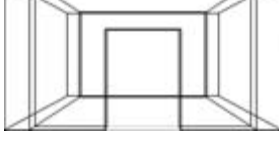
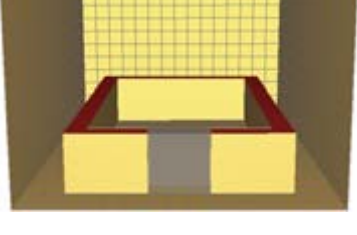
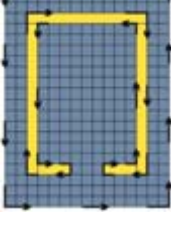
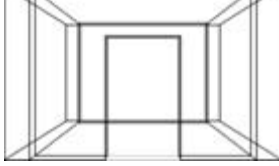


Рис. 4. Алгоритм идентификации помещений

|               | <i>a</i>                                                                            | <i>б</i>                                                                            | <i>в</i>                                                                              |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) $z = 2,25$ |    |    |    |
| 2) $z = 2,0$  |    |    |    |
| 3) $z = 1,75$ |    |    |    |
| 4) $z = 1,5$  |  |  |  |
| 5) $z = 1,25$ |  |  |  |
| 6) $z = 1,0$  |  |  |  |
| 7) $z = 0,75$ |  |  |  |



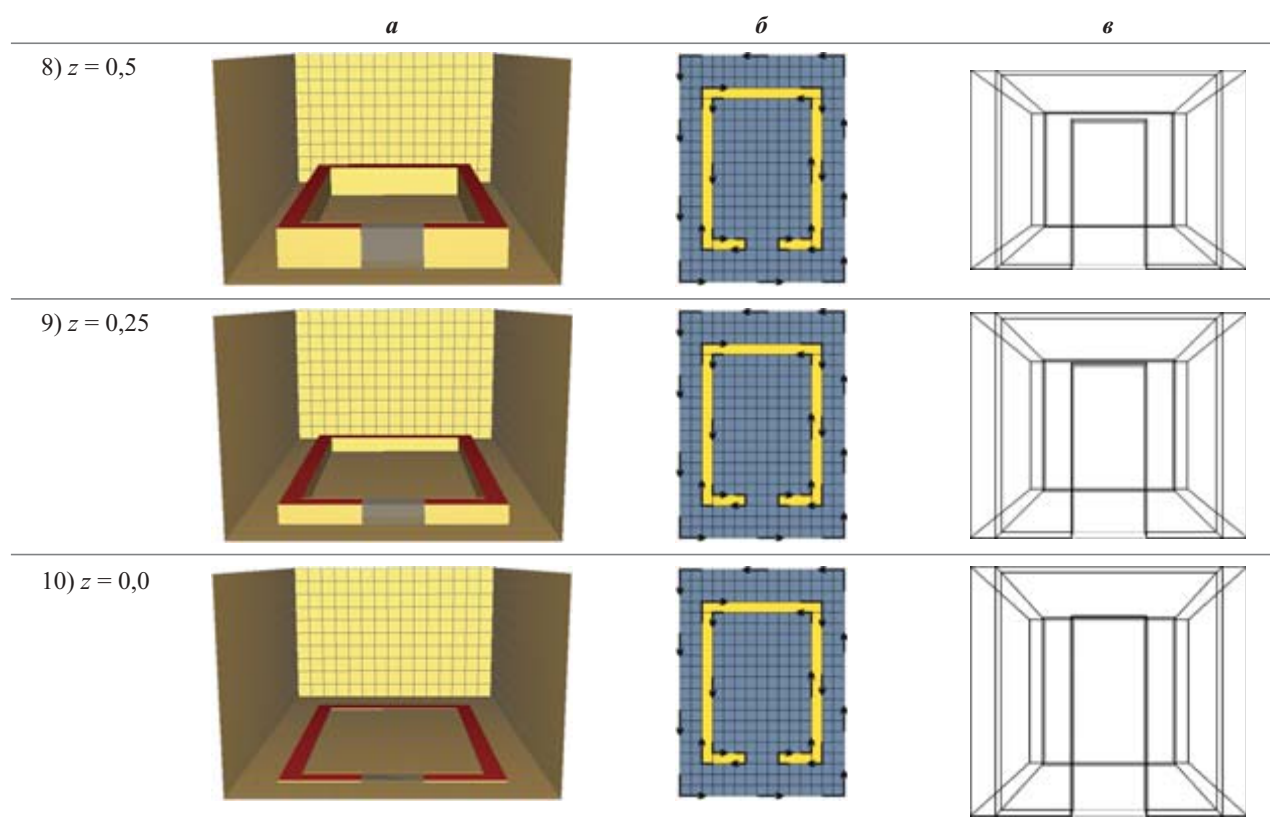


Рис. 5. Матрица (а) и контуры (б) препятствий и пустот, модель помещения (в) при  $z \in \{2,25 \dots 0\}$

2. На каждом шаге по высоте делается разрез всех попавших в плоскость препятствий и отверстий; строится матрица, в которой отражается заполнение ячеек сетки препятствиями и пустотами.

3. На полученной матрице выделяются контуры препятствий и пустот. Контуры препятствий ориентированы по часовой стрелке (clockwise, CW), а контуры пустот — против часовой стрелки (counterclockwise, CCW).

4. Если какой-либо контур полностью описывает другой, внешний контур игнорируется.

5. Для каждого контура из списка перебираются созданные в предыдущих итерациях объекты-помещения (описываемые двумя величинами —  $Z_{\min}$ ,  $Z_{\max}$ , соответствующими нижней и верхней границам помещения, и контурами на каждой отметке по высоте от  $Z_{\min}$  до  $Z_{\max}$ ). Если рассматриваемый контур подобен контуру одного из помещений, то этот контур назначается контуром данного помещения на данной высоте, нижняя граница помещения устанавливается равной текущей координате  $z$ .

6. Если остались незадействованные CCW-контуры, то на их основе создаются новые помещения, верхняя граница которых  $Z_{\max}$  устанавливается равной  $z + dz$ .

7. Конец цикла.

На рис. 5 показаны результаты работы алгоритма на примере простейшей топологии, изображен-

ной на рис. 2,а (помещение высотой 2,5 м с дверью высотой 2 м).

### Ограничения алгоритма

Первая версия разработанного алгоритма обладает рядом ограничений, одни из которых обусловлены ограничениями интегральной модели пожара, а другие в следующих версиях алгоритма могут быть сняты.

1. Границы помещений в плане определяются очертаниями стен “под потолком”. Например, если дверной проем между помещениями доходит до потолка, то алгоритм определит эти помещения как одно (рис. 6).

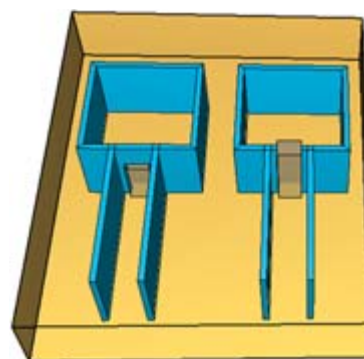


Рис. 6. Определение границ помещений: слева — помещение и коридор; справа — одно помещение сложной формы



Рис. 7. Вертикальный и горизонтальный проемы

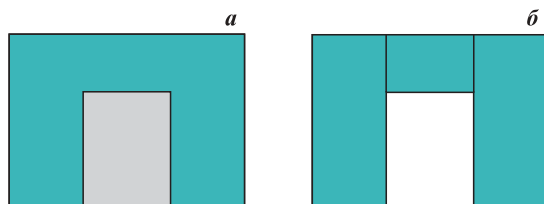


Рис. 8. Задание вертикального проема: *a* — препятствием и отверстием; *б* — только препятствиями

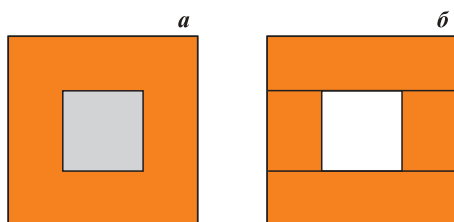


Рис. 9. Задание горизонтального проема: *a* — отверстием — допустимо; *б* — только препятствиями — недопустимо

2. Стены в помещениях должны быть строго вертикальными от пола до потолка (что следует из предыдущего пункта).

3. Отверстия должны быть различимы по ориентации — горизонтальные или вертикальные. У горизонтального отверстия высота меньше длины и ширины, в противном случае оно считается вертикальным (рис. 7).

4. Ширина вертикальных проемов (ширина дверей) должна составлять не менее двух ячеек сетки.

5. Вертикальные проемы могут быть заданы отверстиями или составлены из препятствий, а горизонтальные проемы — только отверстиями (рис. 8 и 9).

6. Пол каждого помещения должен быть полностью закрыт препятствиями либо границей сетки. Все

проемы в перекрытиях должны задаваться отверстиями (это ограничение является следствием предыдущего), иначе перекрытие будет идентифицировано как рабочая площадка. Например, на рис. 10,*a* препятствие полностью закрывает контур помещения. Таким образом, оно является перекрытием, а значит, будут созданы два помещения. На рис. 10,*б* препятствия не полностью закрывают контур помещения, следовательно, они не являются перекрытием. Значит, будет создано одно помещение с рабочей площадкой. На рис. 10,*в* препятствие полностью закрывает контур помещения, т. е. является перекрытием, в котором имеется горизонтальное отверстие. Следовательно, будут созданы два помещения, соединенные горизонтальным проемом.

7. Не должно быть целиком вложенных помещений (одно внутри другого). В таком случае внешнее помещение будет проигнорировано (рис. 11).

8. Допускаются помещения с такой формой в плане, чтобы ее можно было описать одним замкнутым контуром, иначе помещение будет создано по внешнему контуру (рис. 12).

По этой причине замкнутые коридоры необходимо разбивать на отдельные участки. Для этого достаточно добавить под потолком препятствие высотой в одну ячейку сетки (рис. 13).

Аналогичную процедуру разбиения необходимо выполнять в тех случаях, когда один из размеров помещения превышает два других более чем в 5 раз (чтобы топология была в области применения интегральной модели).

9. Все элементы топологии выравниваются по сетке с наименьшим размером ячейки. Поскольку скорость расчета в FIM не зависит от размера и количества ячеек сетки, то для более точного описания топологии можно задать очень мелкую сетку.

10. В качестве материала стен всегда принимается бетон.

11. Игнорируется работа устройств FDS как элементов управления объектами (открыть/закрыть, включить/выключить).

12. В соответствии с ограничениями, обусловленными интегральной моделью пожара, игнорируются:

- герметичные помещения (без проемов);

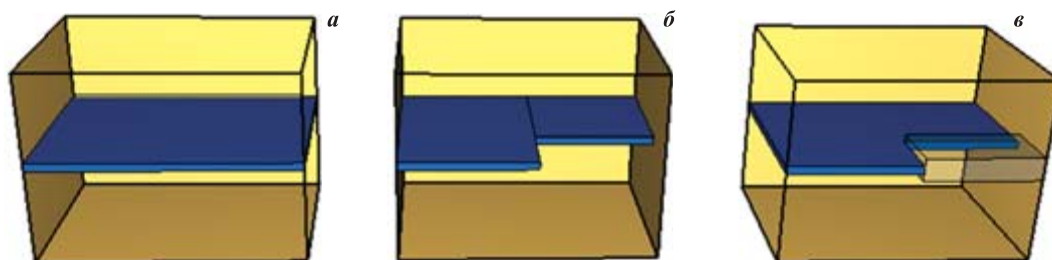


Рис. 10. Варианты задания перекрытия

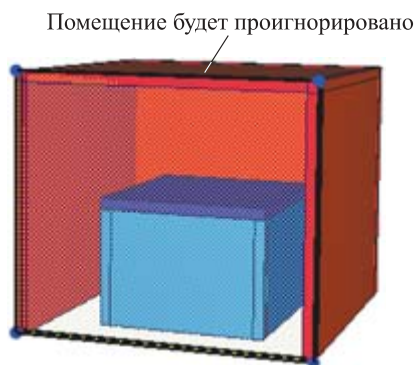


Рис. 11. Помещение целиком находится внутри другого

- задание отдельных видов газов для приточной вентиляции (параметр `MASS_FRACTION` — массовая доля поступающих газов);
- элементы вентиляционных систем HVAC;
- сложные параметры горения (возгорание поверхностей от высокой температуры, влияние систем пожаротушения).

Выходными данными программы являются результаты датчиков и плоскостей, измеряющих следующие параметры: температуру, дальность видимости, концентрации кислорода, углекислого газа, угарного газа и хлористого водорода. Остальные выходные данные, заданные в файле `FDS`, игнорируются.

### Пример использования алгоритма

Приведем пример моделирования пожара с применением разработанного алгоритма в программе FIM.

Рассмотрим часть здания, состоящую из 12 помещений, соединенных коридором, с двумя выходами наружу (рис. 14).

Так как длина коридора более чем в 5 раз превышает ширину и высоту, то согласно области определения интегральной модели пожара его следует разбить на части. Как говорилось выше, границы помещений определяются очертаниями стен под по-

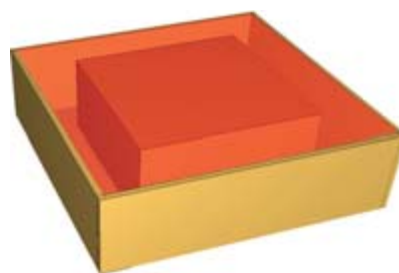


Рис. 12. Топология помещения с замкнутым коридором: помещение будет создано программой неверно — по внешнему контуру

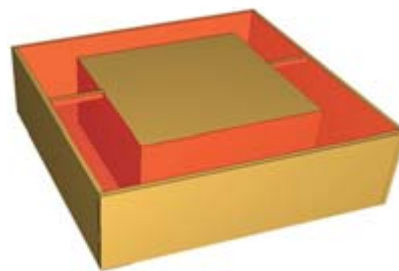


Рис. 13. Замкнутый коридор, разбитый на участки

толком, поэтому, чтобы разделить коридор на части (но при этом не вносить значительных изменений, которые могли бы повлиять на результаты расчета `FDS`), необходимо добавить препятствия под потолком коридора высотой в одну ячейку сетки (см. рис. 14, выделены красным цветом).

Результаты расчета некоторых опасных факторов пожара, полученные с помощью `FDS` и FIM, показаны на рис. 15 (импорт результатов и построение графиков выполнены в программе FireRisk).

В данном примере результаты моделирования FIM достаточно точно совпадают с результатами `FDS` и позволяют оценить динамику ОФП в качественном отношении и при определенных допущениях — в количественном. Наилучшее совпадение результатов наблюдается в помещениях возле помещения очага пожара, где газовую среду можно считать однородной. Если же в помещении присутствует

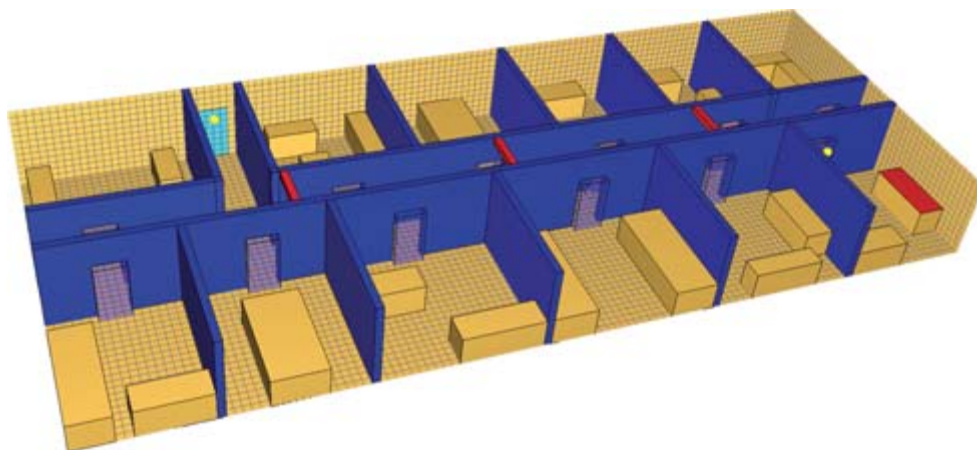
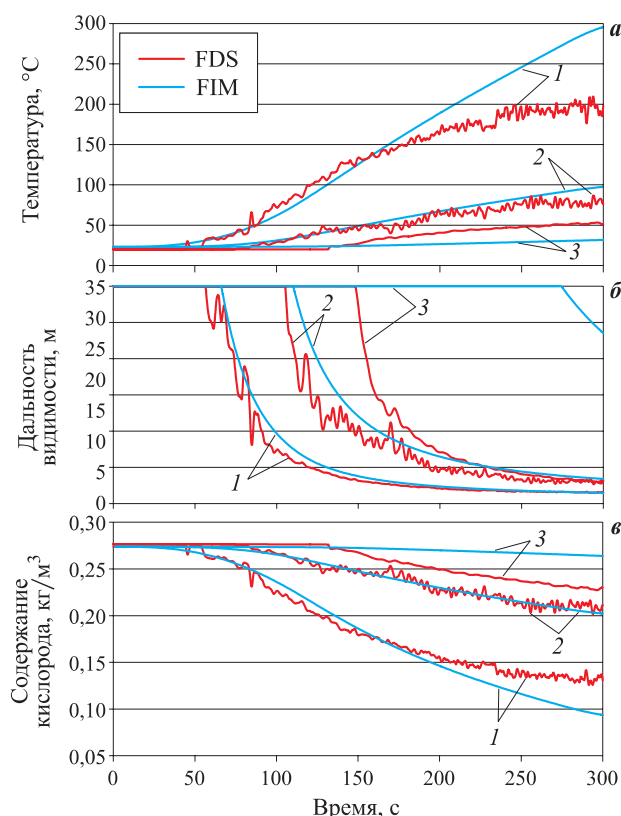


Рис. 14. Топология здания в формате `FDS` (создано в программе PyroSim)





**Рис. 15.** Результаты расчета температуры (а), дальности видимости (б) и концентрации кислорода (в) в трех расчетных точках (1–3)

небольшое количество опасных факторов (например, в начальной стадии пожара или в удаленном от источника пожара помещении), то результаты интегральной и полевой моделей могут существенно различаться (особенно это характерно для дальности видимости).

Безусловно, подобное совпадение результатов моделирования в рассмотренном примере не является характерным. Согласованность результатов будет зависеть от конкретной планировки здания и других исходных данных. Данный пример лишь показывает, что при планировке здания, входящей в область применения интегральной модели, реализация разработанного алгоритма и расчет динамики ОФП в интегральной модели могут существенно сократить продолжительность расчета с несущественным отличием от результатов, получаемых с помощью полевой модели.

В рассмотренном примере продолжительность расчета в FIM приблизительно в 40 раз меньше, чем в FDS.

В настоящее время ведется работа по совершенствованию алгоритма идентификации помещений, направленная на преодоление существующих ограничений, а также на обеспечение возможности анализа более сложных планировок зданий и работы элементов управления объектами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колбин Т. С., Смольников М. И. Влияние способа задания горючей нагрузки на результаты моделирования пожара // Техносферная безопасность. — 2014. — № 3(4). — С. 35–40.
2. Колбин Т. С., Казаринов П. В., Шархун С. В. Моделирование пожара с учетом работы систем противопожарной защиты // Техносферная безопасность. — 2014. — № 4(5). — С. 10–20.
3. Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Гордиенко Д. М. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении // Пожарная безопасность. — 2015. — № 1. — С. 31–39.
4. Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV). URL: <https://code.google.com/p/fds-smv> (дата обращения: 18.06.2015).
5. Maciak T., Czajkowski P. FDS. Analysis of the computational simulation of fire in the tunnel // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. — 2012. — Vol. 28, Issue 4. — P. 157–169. ICID: 1034793.
6. Шейнман И. Я., Шабров Н. Н., Киев В. А., Снегирёв А. Ю., Цой А. С. Масштабируемость открытого программного обеспечения для полевого моделирования пожаров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2012. — Т. 5, № 157. — С. 77–84.
7. Суконникова И. А., Сушко Е. А., Баранкевич Р. В., Пожидаева А. Е. Анализ математических моделей, описывающих динамику опасных факторов пожара, и программных продуктов, реализующих расчет и визуализацию моделируемого процесса // Инженерные системы и сооружения. — 2012. — Т. 9, № 4. — С. 83–93.
8. Ворогушин О. О., Корольченко А. Я. Анализ влияния различных факторов на динамику развития ОФП в атриуме // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 23–30.
9. Fliszkiewicz M., Krauze A., Maciak T. The possibility of applying computer programs in fire safety engineering // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. — 2013. — Vol. 29, Issue 1. — P. 47–60. ICID: 1045704.
10. Субачев С. В., Субачева А. А. Развитие интегральной модели пожаров в зданиях и перспективы ее применения для решения задач пожарной безопасности // Техносферная безопасность. — 2013. — № 1. — С. 72–78.



11. Колодяжный С. А., Козлов В. А., Переславцева И. И. Математическая модель для определения критического времени эвакуации при пожаре // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2014. — Т. 35, № 3. — С. 128–138.
12. Tušnio N., Saleta D. Fire spread modeling in flats using CFAST // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. — 2012. — Vol. 26, Issue 2. — P. 37–44. ICID: 1032119.
13. FireCat– программы для расчета пожарного риска. URL: <http://pyrosim.ru> (дата обращения: 18.06.2015).

*Материал поступил в редакцию 17 июля 2015 г.*

**Для цитирования:** Карькин И. Н., Субачев С. В., Субачева А. А. Алгоритм идентификации помещений в FDS-проектах для моделирования пожара интегральным методом // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. — 45–53. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.45-53.

English

## ALGORITHM FOR THE IDENTIFICATION OF ROOMS IN FDS-PROJECTS FOR FIRE MODELING BY THE INTEGRAL METHOD

**KARKIN I. N.**, Candidate of Technical Sciences, Director of Project "Pyrosim.ru" (Pervomayskaya st., 66-4, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: [mail@pyrosim.ru](mailto:mail@pyrosim.ru))

**SUBACHEV S. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Management in Crisis Situations Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: [sergey-subachev@yandex.ru](mailto:sergey-subachev@yandex.ru))

**SUBACHEVA A. A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physics and Heat Transfer Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: [alla-subacheva@yandex.ru](mailto:alla-subacheva@yandex.ru))

### ABSTRACT

In solving problems of fire safety, it is often necessary to perform a series of calculations with different initial conditions: space-planning decisions, the parameters of operation of fire protection systems, and others. In such cases using FDS becomes difficult because each calculation requires significant time and computing resources.

To solve this problem we have developed a program — FIM (Fire Integral (one-zone) Model). FIM implements calculation of the dynamics of fire hazards by using a one-zone integral model, using the input file format of FDS. If the building topology corresponds to the definition of the integral model, the FIM significantly speeds estimation, before launching into a lengthy calculation FDS. There is no need to create a new model of the building in any other format: the program reads the source FDS file, calculates the dynamics of the fire hazards and generates output files similar to FDS, which can be analyzed in programs like Smokeview, FireRisk and others.

Limitations of FIM 1.0:

- sealed room (no openings) are ignored in the calculation;
- the material of walls is the concrete;
- in ventilation ignored the task of certain types of gas (MASS\_FRACTION — mass fraction of the incoming gases);
- ignored job control facilities (open/closed, on/off);
- ignored the ventilation systems HVAC;
- ignored complex parameters of combustion (the ignition of surfaces from high temperature, the effect of fire extinguishing systems, etc.).

Output data are only the sensors and slices, measuring the following parameters: temperature, visibility, concentration of oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, hydrogen chloride. Other output data set in the file FDS is ignored.

**Keywords:** modeling of fire; FDS; CFD model of fire; integral model of fire; FIM; fire risk.

## REFERENCES

1. Kolbin T. S., Smolnikov M. I. Vliyaniye sposoba zadaniya goryuchey nagruzki na rezultaty modelirovaniya pozhara [Influence of the problem combustible load on fire simulation results]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2014, no. 3(4), pp. 35–40.
2. Kolbin T. S., Kazarinov P. V., Sharkhun S. V. Modelirovaniye pozhara s uchetom raboty sistem protivopozharnoy zashchity [The simulation of fire with regard to the work of fire protection]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2014, no. 4(5), pp. 10–20.
3. Shebeko Yu. N., Shebeko A. Yu., Gordienko D. M. Raschetnaya otsenka ekvivalentnoy prodolzhitelnosti pozhara dlya stroitelnykh konstruktsey na osnove modelirovaniya pozhara v pomeshchenii [Assessment of equivalent fire duration for building structures based on compartment fire modeling]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2015, no. 1, pp. 31–39.
4. Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV). Available at: <https://code.google.com/p/fds-smv> (Accessed 18 June 2015).
5. Maciak T., Czajkowski P. FDS. Analysis of the computational simulation of fire in the tunnel. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza — Safety & Fire Technique*, 2012, vol. 28, pp. 157–169. ICID: 1034793.
6. Sheynman I. Ya., Shabrov N. N., Kiev V. A., Snegirev A. Yu., Tsoy A. S. Masshtabiruyemost otkrytogo programmnoy obespecheniya dlya polevogo modelirovaniya pozharov [Scalability examination of open-source software tools for fire modeling]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye — St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*, 2012, vol. 5, no. 157, pp. 77–84.
7. Sukonnikova I. A., Sushko E. A., Barankevich R. V., Pozhidaeva A. E. Analiz matematicheskikh modeley, opisyyvayushchikh dinamiku opasnykh faktorov pozhara, i programmnykh produktov, realizuyushchikh raschet i vizualizatsiyu modeliruyemogo protsessa [Analysis of mathematical models describing the dynamics of fire hazards, and software products that implement the calculation and visualization of the simulated process]. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya — Engineering Systems and Constructions*, 2012, vol. 9, no. 4, pp. 83–93.
8. Vorogushin O. O., Korolchenko A. Ya. Analiz vliyaniya razlichnykh faktorov na dinamiku razvitiya OFP v atriume [Analysis of influence of different factors on dynamics of progress of the dangerous factors of fire in atrium]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 23–30.
9. Fliszkiewicz M., Krauze A., Maciak T. The possibility of applying computer programs in fire safety engineering. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza — Safety & Fire Technique*, 2013, vol. 29, issue 1, pp. 47–60. ICID: 1045704.
10. Subachev S. V., Subacheva A. A. Razvitiye integralnoy modeli pozharov v zdaniyakh i perspektivy yeye primeneniya dlya resheniya zadach pozharnoy bezopasnosti [Development of an integral model of fire and the prospects of its application for solving problems of fire safety]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2013, no. 1, pp. 72–78.
11. Kolodyazhnyy S. A., Kozlov V. A., Pereslavytseva I. I. Matematicheskaya model dlya opredeleniya kriticheskogo vremeni evakuatsii pri pozhare [Mathematical model for determining the critical time fire escape]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura — Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2014, vol. 35, no. 3, pp. 128–138.
12. Tuśnio N., Saleta D. Fire spread modeling in flats using CFAST. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza — Safety & Fire Technique*, 2012, vol. 26, issue 2, pp. 37–44. ICID: 1032119.
13. FireCat — programmy dlya rascheta pozharnogo riska [Software for the calculation of fire risk]. Available at: <http://pyrosim.ru> (Accessed 18 June 2015).

**For citation:** Karkin I. N., Subachev S. V., Subacheva A. A. Algoritm identifikatsii pomeshcheniy v FDS-proyektakh dlya modelirovaniya pozhara integralnym metodom [Algorithm for the identification of rooms in FDS-projects for fire modeling by the integral method]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 45–53. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.45-53.

# 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*

РЕКЛАМА



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

Организаторы:



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

**В. Д. ЗАХМАТОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Экстремальные процессы в материалах и взрывобезопасность”, Институт военно-технического образования и безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

**М. В. СИЛЬНИКОВ**, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. Российской академии наук, директор Института военно-технического образования и безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

**М. В. ЧЕРНЫШОВ**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой “Экстремальные процессы в материалах и взрывобезопасность”, Институт военно-технического образования и безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

УДК 654.924.5

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ

Анализ операции по тушению лесных пожаров в Чернобыльской зоне (ЧЗ) показывает практическую невозможность быстрого подавления пожаров радиоактивного леса силами подразделений ГОЧС Украины и предотвращения переноса смертельно опасных радиоактивных частиц на европейские страны. Обосновано предложение по созданию международного отряда по пожарной охране ЧЗ. Описана новая пожарная техника, способная обеспечить безопасность пожарных при тушении пожаров радиоактивного леса, высокую эффективность и скорость тушения при ограниченном использовании малых масс экологически чистых огнетушащих составов и природных материалов.

**Ключевые слова:** импульсное тушение лесных пожаров; катастрофические выбросы радиации с дымом; огнетушащие многофазные реагирующие среды; ударная волна; горение; эксперимент.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.55-62

Украинское государство ведет интенсивную гражданскую войну на Востоке своей страны, бросая все свои ресурсы на войну, но при этом не может обеспечить безопасность граждан Украины и соседних стран от последствий Чернобыльской катастрофы, уделяя этой важной проблеме международной безопасности минимум внимания. 27 апреля в Чернобыльской зоне (ЧЗ) начался крупнейший в истории независимой Украины лесной пожар (рис. 1). Ветер дул на Беларусь в направлении Могилева, Витебска, Минска и далее — на Варшаву и Вильнюс. Пожар начался сразу широким фронтом с подветренной стороны зоны Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) и за ночь разросся до 320 га, что дает основание говорить о диверсии — об умышленном поджоге с вероятной целью шантажа европейских стран. 27–29 апреля локализовать лесной пожар в зоне ЧАЭС не удавалось вследствие ограниченных сил и средств, привлекаемых к его тушению [1].

29 апреля пожар охватил уже более 400 га леса. Сначала его тушила сборная пожарная команда из Ивановковского, Вышгородского и Бородянского районов Киевской обл. в составе 52 пожарных и 9 по-

жарных машин. Даже катастрофичность ситуации не позволила привлечь на тушение более 182 чел. и 32 пожарных машин. Воздушная разведка и локализация очагов пожара осуществлялись вертолетом Ми-8 с водосливным устройством, вертолетом Еврокоптер, а также двумя пожарными самолетами Ан-32П. Это яркий показатель бездействия правительства Украины и отсутствия ресурсов: все силы



Рис. 1. В Чернобыле горит лес



брошены на гражданскую войну. Пожарные, героически работая в клубах дыма, насыщенного смертельно опасными радиоактивными изотопами, остановили фронт низового и частично верхового лесного пожара на подступах к Чернобыльской атомной электростанции и к самому опасному в зоне месту — хранилищу радиоактивной техники (десятков вертолетов Ми-14, Ми-8 и сотен автомобилей, весьма пожароопасных). Опасному еще и потому, что при сгорании оставшихся после Чернобыльской аварии радиоактивных металлов и высохшей, растрескавшейся резины мог произойти выброс радиоактивного дыма, который может быть сравним с первым выбросом радиоактивных аэрозолей в ночь на 25–26 апреля 1986 г., напугавшим всю Европу.

Как поведал премьер А. Яценюк, причиной того, что долго не удавалось локализовать пожар, является нехватка в ГОЧС техники. В этом заявлении можно не сомневаться, ведь ее угнали в зону АТО на Донбасс, где она была уничтожена или сломалась (более 80 % этой техники было с истощенным моторесурсом). Тушили лес традиционно — подачей огнетушащих составов (ОС) из ручных шлангов с земли, лафетных стволов с машин, забрасыванием земель и песком с помощью лопат, сбросом воды с самолетов. Тем не менее площадь пожара возросла до 600 га. Когда огонь подбирался к ЧАЭС, по тревоге был поднят весь личный состав МВД и Национальной гвардии. В результате пожара образовались плотные крупномасштабные облака радиоактивного дыма, которые с попутным ветром могли распространиться до Прибалтики, Польши, Словакии и других стран, как это уже было в 1986 г. Бывший глава ГСЧС Украины (ранее МЧС) Нестор Шуфрич заявил, что сложившаяся ситуация — это последствия безответственной кадровой политики руководства ГСЧС и кабинет министров Украины обязан дать адекватную оценку действию руководства службы или взять ответственность за неэффективность ее действий на себя.

В условиях серьезной обстановки с пожаром в ЧЗ Министерство экологии и природных ресурсов Украины предложило сократить территорию зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции до 10 км, а остальную территорию превратить в Чернобыльский биосферный заповедник, где в отдельных районах будет разрешена хозяйственная деятельность и проживание людей. Напомним, что в 1986 г. авария на ЧАЭС привела к чудовищному по масштабам радиационному загрязнению местности. Вокруг Чернобыльской АЭС была создана так называемая 30-км “зона отчуждения”, в которой был введен запрет на всякую хозяйственную деятельность и практически все населенные пункты были в прямом смысле слова уничтожены. Даже сейчас в не-

которых районах, подвергшихся загрязнению, наблюдается сверхдопустимое содержание радиоактивных изотопов в почве, растениях. По утверждению экспертов, такая ситуация будет сохраняться еще долгое время, так как период полураспада цезия-137 составляет 30 лет, стронция-90 — 29 лет, плутония-244 — примерно 80 млн. лет. Верховой огонь и резкие порывы ветра создали серьезную угрозу распространения пожара в 20-километровой зоне от ЧАЭС. Экологи утверждают, что по данным спутникового наблюдения горят не 420 га леса, как клятвенно заверяют киевские чиновники, а до 10 тыс. га. Однако официально такая площадь пожара не была признана.

Еще в конце 2014 г. группа ученых из США и Франции опубликовала статью, в которой было смоделировано возможное радиоактивное загрязнение сопредельных стран и регионов в случае крупных катастрофических пожаров в Чернобыльской зоне, сопоставимое по последствиям для людей с аварией на АЭС “Фукусима”. Сейчас лесной пожар меньше по масштабам, чем максимально возможный, но он продолжает развиваться. Горит лес, впитавший в себя за 29 лет радиоактивную пыль и превратившийся в “грязную бомбу”. Наиболее распространены в надкорневых, сгорающих частях растений зоны ЧАЭС плутоний с периодом полураспада 24100 лет, цезий-137 и стронций-90 с периодом полураспада 30 лет (они замещают кальций в костях и калий в мышечных тканях человека), америций-241 с периодом полураспада 432,6 года (он поражает легкие, печень, почки, проникает в костный мозг и скелет). Содержание америция в растениях чернобыльской зоны в 10 раз выше, чем плутония. Единственное, что в лесах распалось без следа, так это радиоактивный йод-131 (период полураспада 8 сут).

Если бы пожар не остановили в 5 км от хранилища старой техники, оставшейся с 1986 г., то произошел бы катастрофический выброс радиации в атмосферу, интенсивность которого была бы пропорциональна скорости сгорания радиоактивного металла.

30 апреля 2015 г. пресс-служба “Greenpeace” сообщила, что лесные и торфяные пожары в зоне отчуждения под Чернобылем грозят крупным выбросом радиоактивных аэрозолей ([www.rosbalt.ru/ukraine/2015/04/30/1394476.html](http://www.rosbalt.ru/ukraine/2015/04/30/1394476.html)). Радиоактивные вещества могут попадать вместе с дымом в атмосферу и распространяться в малопредсказуемых направлениях, в зависимости от направления ветра, высоты и погодных факторов, на огромные расстояния. Так, например, в 2012–2014 гг. чернобыльские радионуклиды были обнаружены более чем за 1000 км — в Турции. Эксперты компании привели данные ученых из Франции и США, которые изучали последствия лесных пожаров в зоне чернобыльского следа

и смоделировали развитие пожаров по сценарию, аналогичному тому, который наблюдался в средней полосе Европейской России летом 2010 г. Был сделан вывод, что возможный выброс цезия-137 может соответствовать серьезной аварии, оцениваемой уровнем 6 по Международной шкале ядерных событий (INES). Напомним, что сама черновыльская авария получила по этой шкале оценку 7. По количеству онкологических заболеваний и смертей выброс радиоактивных веществ при пожаре зараженного леса может сравниться с выбросом радиации при аварии на АЭС “Фукусима-1”. При этом компания «Greenease» не анализировала риски, связанные с торфяными пожарами в зоне ЧАЭС, при которых в атмосферу выбрасывается гораздо большее количество микрочастиц дыма, а уровень радиоактивного загрязнения местности в низинах (где расположено большинство торфяников) обычно выше, чем на возвышенных участках ([www.rosbalt.ru/ukraina/2015/04/30/1394266.html](http://www.rosbalt.ru/ukraina/2015/04/30/1394266.html)).

Пожары в Чернобыльской зоне отчуждения опасны для граждан не только Украины, но и соседних стран. Экологи уже давно бьют тревогу по этому поводу. Как пояснила ТСН.ua Татьяна Вербицкая, представитель Национального энергетического центра Украины, “если в зоне возникнет лесной пожар, то его уже трудно будет остановить. Проблема возникновения пожаров в чернобыльском лесу уже давно остро стоит. Украина до сих пор сидит на ядерной “бомбе” старых АЭС” (<http://ru.tsn.ua/ukrayina/v-chernobyle-zagorelsya-les-chem-eto-opasno-dlya-ukraincev-423001.html>).

В почве, траве, кустарнике, деревьях ЧЗ содержится множество весьма опасных радиоактивных частиц тяжелых долгоживущих элементов. Попадание этих частиц с воздухом, продуктами, жидкостями во внутренние органы человека вызывает возникновение раковых заболеваний желудка, печени, почек, селезенки, щитовидной железы и пр. При лесных пожарах восходящие потоки дыма уносят множество высокорadioактивных частиц на высоту до 1–3 км, вследствие чего образуются радиоактивные облака, переносимые ветром на расстояния до тысячи километров и более [2, 3]. Поэтому любой лесной пожар в ЧЗ, тем более крупномасштабный, весьма опасен для граждан Украины, России, Беларуси, Польши, Словакии и других европейских стран. При этом общий радиационный фон может не превышать допустимого уровня, но частицы тяжелых металлов будут поражать людей (для возникновения ракового заболевания в одном из внутренних органов человека достаточно одной частицы).

Очень высокий уровень опасности, создаваемый на территориях перечисленных стран лесными пожарами в Чернобыльской ЧЗ, объясняется целым комплексом причин:

- 1) невозможностью должного ухода за лесом (не проводятся противопожарные мероприятия: расчистка от накопившихся с 1986 г. в большом объеме сухостоя, сваленных деревьев, зарослей кустарника, сухой травы; создание противопожарных просек) [4, 5];
- 2) высокой скоростью распространения лесных пожаров по труднопроходимому, нерасчищенному лесу, с массой сухостоя, зарослей кустарника, многолетнего слоя сухой травы, ускоряющих распространение огня и усиливающих восходящие потоки продуктов сгорания (дыма);
- 3) практической невозможностью проезда к очагам пожара в нерасчищенном горящем лесу на стандартных колесных пожарных машинах [6].

Наиболее эффективными при тушении лесного пожара являются машины “Импульс-3М” с 50-ствольными модулями (рис. 2), которые стоят на вооружении Чернобыльской пожарной части. Они были созданы еще в 1991 г. усилиями коллектива ученых и инженеров под научным руководством автора. Эти машины способны добраться по лесу до очага пожара и потушить его, используя возимый запас огнетушащего агента (ОА) или негорючие природные материалы (грунт, песок, грязь, пыль), применение которых в тонкораспыленном состоянии эффективно при тушении очагов лесного пожара. При этом важна высокая скорость перезарядки стволов и тушения, достигаемая использованием природных материалов, взятых недалеко от места пожара. Очень важно, что природные материалы при взаимодействии с пламенем выделяют наименьшее количество паров, аэрозолей, уносимых восходящим дымом [7].

По сообщению пресс-службы ГСЧС 30 апреля, в “Чернобыльской пуще” (в зоне отчуждения ЧАЭС) с большим напряжением сил, но недостаточной для успеха тушения интенсивностью, дальностью и масштабами подачи ОА продолжались весьма опасные работы по ликвидации локализованного ранее пожара. В связи с этим совершенно очевидно, что для тушения пожаров в зоне ЧАЭС необходима принципиально новая техника, обеспечивающая быстрое и эффективное дистанционное тушение с высокой степенью безопасности для пожарных, что может быть достигнуто лишь при малом времени тушения и минимальном числе пожарных, управляющих техникой в зоне тушения [8], опасной по уровню радиации. Опытнo-промышленные образцы такой техники были созданы в период 1986–1990 гг.: многоствольные модули залпового распыления, вертолетные и самолетные подвесные и прицельно сбрасываемые распылительные бомбы; ручные дальнобойные огнетушители [9, 10].



Рис. 2. ГБПМ "Импульс-3М" с башенной 50-ствольной установкой

Применение огнетушащих водяных бомб является одной из высокоточных и эффективных технологий тушения лесных пожаров. Первый опыт тушения водяными бомбами был получен при ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы. Можно сказать, что Чернобыль впервые показал возможности новой техники и необходимость ее применения для эффективной ликвидации последствий современных и будущих катастроф.

Именно тогда была испытана первая подвесная огнетушащая бомба, состоящая из связки пяти мешков, заполненных мокрым песком и распылительными зарядами из тротильных шашек (рис. 3). Бомба показала высокую огнетушащую эффективность: было потушено от 100 до 250 м<sup>2</sup> за 1 с при высоте подрыва от 8 до 15 м. Она создавала конусообразный импульсный вихрь распыленного огнетушащего состава с расширяющимся, уплотненным и мощным фронтом, который обеспечивал эффективное и мгновенное сплошное тушение верхового и низового пожара на заданной площади. При этом достигалась высокая точность воздействия на очаг при малом времени распыления, что позволяло избежать зависания вертолета над очагом пожара. После отработки и внедрения методики прицеливания и подрыва бомбы появилась возможность прицельно тушить очаги пожаров без остановки вертолета, в результате чего его экипаж получал малые дозы радиации. Вскоре применение данной технологии была расширено до распыления вязких составов ("нефтяной бурды"), локализующих радиоактивную пыль на сложных поверхностях, в зонах, недоступных для других средств локализации. После испытаний по решению правительственной комиссии была изготовлена и отправлена в Чернобыльскую зону опытная партия бомб (2000 шт.) [9].

Водяная бомба изготавливалась из стандартной пластиковой бочки вместимостью 160 л (220 л), с дном, имеющим радиальные разрезы. Эта бомба способна эффективно потушить от 100 до 250 м<sup>2</sup> горящего леса в зависимости от вида и высоты де-



Рис. 3. Первая огнетушащая бомба из связки мешков

ревьев и интенсивности их горения [11]. Залп из четырех бомб, расположенных определенным образом, может потушить лесной пожар на площади до 2000 м<sup>2</sup>. Эта бомба совершенно безопасна для леса, а также для животных и людей. Наиболее эффективен для взрывного распыления диапазон высот от 8 до 15 м. При использовании в бомбе простого взрывателя с замедлением вертолет может лететь на высоте до 1000 м. На сегодня это наиболее совершенный и эффективный образец водяной бомбы, на базе которого возможно создание промышленного образца. Разработаны и успешно испытаны две версии корпуса в виде мешка и эластичной емкости с верхним кольцевым каркасом, изготовленным, например, из автомобильной покрышки. Это наиболее безопасные и дешевые конструкции, компактные и удобные для транспортировки в варианте, когда вода заливается в конце снаряжения бомбы (незадолго до ее использования).

Данная разработка имеет следующие преимущества по сравнению с существующими методами тушения лесных пожаров в ЧЗ:

- быстрое, эффективное и точное тушение очагов при малом удельном расходе (0,1–1,0 л/м<sup>2</sup>) дешевых, легкодоступных ОС за счет создания конусообразного вихря с масштабной площадью равномерного одновременного накрытия;
- возможность тушения нескольких очагов за вылет, что позволяет сократить число вылетов в 3–5 раз по сравнению с традиционным сливом воды и тем самым значительно удешевить и ускорить процесс тушения;
- масштабное осаждение дыма на различных высотах, снижение степени уноса ветром радиоактивных частиц.

Таким образом, водяные бомбы могут успешно использоваться при тушении лесных пожаров в ЧЗ.

Финальная стадия — это тушение локальных очагов лесного пожара в дуплах, под сваленными де-



ревьями, в ямах и повторных возгораний деревьев, кустарника с помощью высокоточного воздействия на них ОС, которое обеспечивается при помощи малых вертолетов, оснащенных подвесной бомбой, связкой бомб или малой 4-бомбовой платформой. Однако подавляющее большинство повторных возгораний могут потушить пожарные и волонтеры на мотоциклах с дальнобойными импульсными огнетушителями, эффективно распыляющими сухие и увлажненные природные материалы (грунт, грязь, песок, пыль, снег, лед и пр.). Это позволит обеспечить полную независимость работы пожарных в лесу от подвоза огнетушащих составов и быстро тушить множественные очаги лесного пожара на больших территориях и в зонах, недоступных для транспорта [12].

Более 90 % возгораний и лесных пожаров в начальной стадии их развития могут быть потушены с помощью дальнедействующих огнетушителей и при своевременной их доставке к очагу пожара. При расположении очага пожара в ЧЗ радиусом 30 км (труднодоступном густом лесу с узкими тропинками) пожарный на мотоцикле доберется до него быстрее, чем самолет или вертолет, требующие длительной подготовки, включая решение организационных вопросов, и значительного финансирования (от 3 тыс. до 250 тыс. долл. за полетный час). Пожарный мотоциклист способен доставить к очагу лесного пожара в ЧЗ импульсный универсальный распылитель (массой 5–6 кг), до 50 однолитровых контейнеров с гелями и водой (массой 55 кг), до 500 распылительных патронов (массой 2 кг), что даст возможность за один рейд потушить до 540 очагов лесного пожара площадью до 1100 м<sup>2</sup>, до 1500 м кромки низового лесного пожара и обеспечить безопасный обратный путь.

Для тушения лесных пожаров, особенно в труднодоступных зонах, не годятся ни современные водяные огнетушители высокого давления (например, “Intervent” (Швеция), ни импульсные (“TSIS” (США), “IFEX-3000” (Германия), “Игла” (Россия), “Тайфун” (Украина)), так как они сложны в эксплуатации, тяжелы, громоздки, очень дороги, обеспечивают малую дальность тушения, опасны и в эксплуатации требуют специальных мер защиты, например тяжелого защитного пожарного костюма типа скафандра. То же самое можно сказать и о пневмоимпульсных огнетушителях (ПИО) (например, производства Австрии – США, России, Белоруссии).

Проблема была решена автором путем создания профессиональных импульсных универсальных распылителей (ИУР). Они характеризуются относительно невысокой стоимостью (около 500–800 долл.), импульсным распылением до 2 л порошка и до 1 л воды или геля на расстояние до 20 м, площадью тушения 2–10 м<sup>2</sup> при одном распылении. ИУР эффективны при тушении низовых лесных пожаров, а так-

же возгораний отдельных деревьев, в том числе поваленных, кустарника, пней. Главное преимущество профессионального огнетушителя — эффективное тушение экологически чистыми природными материалами (вода с примесями, грунт, грязь, песок, пыль), что обеспечивает длительную и автономную работу пожарных-десантников, имеющих лишь запас малых вышибных патронов (12-го или 16-го калибра). Для тушения радиоактивных лесных пожаров и создания огнепреградительных полос весьма важна возможность эффективного и равномерного распыления с дальних расстояний вязких составов, наиболее эффективных для тушения древесины, листвы и травы.

ИУР при одном распылительном выстреле способен тушить до 5–10 м кромки лесного пожара и до 2–3 м<sup>2</sup> горящей площади менее чем за 5 с с учетом прицеливания; при 10 распылительных выстрелах — до 50–100 м кромки лесного пожара и до 20–30 м<sup>2</sup> горящей площади менее чем за 1–3 мин. Применение 10 огнетушителей обеспечит тушение до 500–1000 м кромки низового пожара и до 200–300 м<sup>2</sup> горящей площади малых очагов лесного пожара, а также очагов средней величины с учетом впервые достигнутой дальности действия. Время тушения, перезарядки и прицеливания составит не более 0,5 ч. Таким образом, использование импульсных огнетушителей позволит сократить время тушения примерно в 5–10 раз, что очень важно при тушении лесного пожара в радиоактивной зоне с высоким содержанием в дыме опасных микрочастиц долгоживущих радиоактивных изотопов. При этом работа облегчается тем, что для перезарядки огнетушителя нет необходимости покидать место работы, достаточно доставить к нему контейнеры в рюкзаке или в полиэтиленовой упаковке с ручкой. При длительной автономной работе очередная машина может своевременно привезти до 100 комплектов контейнеров и новую смену пожарных. При задержке привоза контейнеров пожарный может перейти на распыление природных материалов (грунт, грязь, песок, вода), используя для перезарядки отработанные контейнеры и холостые патроны, выдаваемые в количестве не менее 100 шт. каждому оператору импульсного огнетушителя.

Таким образом, станет реальным организовать непрерывный процесс тушения лесного пожара, практически не останавливая его при смене пожарных, что позволит наиболее быстро и эффективно завершить этот процесс. Это наиболее важно при тушении горящего радиоактивного леса, когда требуется частая смена пожарных. В этих условиях целесообразно привлекать пожарных на мотоциклах для тушения лесных пожаров на больших территориях, и особенно в труднодоступных зонах. При этом универсальный дальнобойный импульсный распыли-



тель может стать не только залогом обеспечения эффективной и быстрой работы пожарного, но и гарантией его безопасности в ЧЗ за счет максимального возможного сокращения времени работы, приезда и отъезда.

Предлагаемая техника не имеет близких аналогов в мире, обладает патентной чистотой, защищена украинскими, российскими, европейскими и китайскими патентами и заявками и имеет большие резервы для дальнейшего совершенствования. Для этого есть солидная научная база — результаты многолетних исследований (с 1979 г.), полигонных испытаний и многократной практики применения

при тушении лесных пожаров, включая работу в ЧЗ. Внедрение может обеспечить стране-производителю значительные прибыли благодаря сохранению экологии и сбыту описанных образцов импульсной техники во многих странах.

Предлагаемый комплекс новой техники для тушения пожаров радиоактивного леса в ЧЗ даст возможность реально защитить жителей европейских стран от радиоактивного дыма лесных пожаров в ЧЗ. Обязательным условием надежной защиты является международный эффективный контроль ЧЗ, включающий специальную пожарную бригаду, подчиняющуюся органу контроля.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байвидович О. Огонь у Чернобыля // Вести. Киев. — 28.04.2015. — С. 6.
2. James H. Speer. A review of "Living with fire: fire ecology and policy for the twenty-first century" // The Professional Geographer. — 2010. — Vol. 62, Issue 1. — P. 137–138. DOI: 10.1080/00330120903446430.
3. National Interagency Fire Center. Year-to-date statistics 2013. URL: <http://www.nifc.gov/fireInfo/nfn.htm> (дата обращения: 05.05.2015).
4. Абдурагимов И. М. Новый эффективный способ тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 5. — С. 41–51.
5. Абдурагимов И. М. Новая стратегия и тактика тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 44–52.
6. Абдурагимов И. М. Проблема тушения крупных лесных пожаров и крупномасштабных пожаров твердых горючих материалов в зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 2. — С. 69–74.
7. Morandini F., Silvani X. Experimental investigation of the physical mechanisms governing the spread of wildfires // International Journal of Wildland Fire. — 2010. — Vol. 19, Issue 5. — P. 570–582. DOI: 10.1071/wf08113.
8. Свидетельство на полезную модель 12975 Российская Федерация. МПК А62С3/02. Устройство для локализации низового лесного пожара и быстрого отжига ЛГМ / Гришин А. М., Зима В. П., Медведев А. В. — № 98120290/20; заявл. 02.11.1998; опубл. 20.03.2000, Бюл. № 8.
9. Захматов В. Д. Импульсная техника в Чернобыле // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 4. — С. 49–52.
10. Щербак М. В., Захматов В. Д. Оснащення військових частин імпульсною технікою для ліквідації наслідків екологічних катастроф // Екологія і ресурси. — 2008. — Вип. 19. — С. 73–79.
11. Impulse forest fire-fighting at the hard-to-reached areas // Euro Mediterranean Wildfire Meetings, France, 24–27 October 2000. — P. 24–27.
12. Захматов В. Д., Откидач Н. Я., Щербак Н. В. Новые методы и техника для тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 1998. — Т. 7, № 4. — С. 69–71.

Материал поступил в редакцию 19 мая 2015 г.

Для цитирования: Захматов В. Д., Сильников М. В., Чернышов М. В. Современные проблемы лесных пожаров в Чернобыльской зоне // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 55–62. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.55-62.

English

### PROBLEM OF CHERNOBYL FOREST FIRES NOWTIME

**ZAKHMATOV V. D.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Extreme Processes in Materials and Explosion Safety Department, Institute of Military Engineering and Safety Research of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politeknicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail address: [zet.pulse@gmail.com](mailto:zet.pulse@gmail.com))

**SILNIKOV M. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of Institute of Military Engineering and Safety Research of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politekhnikeskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation)

**CHERNYSHOV M. V.**, Doctor of Technical Sciences, Head of Extreme Processes in Materials and Explosion Safety Department, Institute of Military Engineering and Safety Research of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politekhnikeskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation)

## ABSTRACT

There was high intensive forest fire with large throw out radioactive aerosole with ascend smoke to 2 km of height. Primary the wind was to Belarus, Vilnius, Warszawa. They get not small amounts of radioactive particles of strontium-90 and others radioactive, long-live dangerous, radioactive elements. As a result this forest fire-fighting operation showed very clean that Ukraine government have poor possibilities and don't control the forest — fires at Chernobyl area. It's very dangerous for Belarus, Poland, Slovakia, Latvia, Estonia, Lithuania, Finland and etc. Because it's great European countries problem and must to solve it include the new technology. Any negotiations with Ukraine Government are poor-effective, because it Government can't ensure fire safety of radioactive forest in Chernobyl area.

There is real, great dangerous of radioactive aerosol and smoke intensive generate by large forest fires at Chernobyl zone. The radioactive clouds spreading all over East-Nord Europe from great forest fires in Chernobyl zone. It's not effective environmental monitoring only — there need new technology for fast, precisely forest fire-fighting timely — to stop radioactive clouds go to Europe regular spring and autumn annually, timely. Theoretical and experimental studies, conducted by author, have allowed the radioactive smoke of the wildfire flame to be determined. The pyrolysis zones and the zones containing the pyrolysis products and oxygen were found to be the most unstable during combustion of natural high-molecular compounds such as needle litter, herbage, and timber. In this case, if these zones are subjected to the shock waves, then they will be destroyed and the process of combustion will stop. At the same time the theoretical and experimental studies have shown that the shoot spray lead to an increase in pressure in the unstable zones during interaction with these zones, which increases the efficiency of extinguishing a fire.

This approach directed to the destruction of unstable zones allows the new technical methods and devices to be created for providing the safety of fireman-operators, the environmental safety through conservation of natural resources, and the high efficiency. Similar requirements are met by blasting methods: combined method of localization and suppression of ground forest and steppe fires; line charge for localization and suppression of fires, as well as a disintegrator of a ground forest fire front, technical description and characteristics which are presented in this paper.

**Keywords:** pulse forest fire-fighting; catastrophically radioactive smoke out; extinguishing multi-phase reacting media; shock wave; combustion; experiment.

## REFERENCES

1. Bayvidovich O. Ogon u Chernobylya [Fire at the Chernobyl]. *Vesti. Kiev — News. Kiev*, 28.04.2015, p. 6.
2. James H. Speer. A review of "Living with fire: fire ecology and policy for the twenty-first century". *The Professional Geographer*, 2010, vol. 62, issue 1, pp. 137–138. DOI: 10.1080/00330120903446430.
3. National Interagency Fire Center. Year-to-date statistics 2013. Available at: <http://www.nifc.gov/fire-Info/nfn.htm> (Accessed 5 May 2015).
4. Abduragimov I. M. Novyy effektivnyy sposob tusheniya lesnykh pozharov [New effective way of forest fires extinction]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 5, pp. 41–51.
5. Abduragimov I. M. Novaya strategiya i taktika tusheniya lesnykh pozharov [New strategy and tactics of extinguishing of forest fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 44–52.
6. Abduragimov I. M. Problema tusheniya krupnykh lesnykh pozharov i krupnomasshtabnykh pozharov tverdykh goryuchikh materialov v zdaniyakh [Problem of extinguishing of large forest fires and large-scale fires of solid combustible materials in buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 69–74.
7. Morandini F., Silvani X. Experimental investigation of the physical mechanisms governing the spread of wildfires. *International Journal of Wildland Fire*, 2010, vol. 19, issue 5, pp. 570–582. DOI: 10.1071/wf08113.

8. Grishin A. M., Zima V. P., Medvedev A. V. *Ustroystvo dlya lokalizatsii nizovogo lesnogo pozhara i bystrogo otzhiga LGM* [Device for localization of a ground forest fire and fast burning of forest combustible materials]. Inventor's Certificate RU, no. 12975, 20.03.2000.
9. Zakhmatov V. D. Impulsnaya tekhnika v Chernobyle [Pulse equipment in Chernobyl]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 4, pp. 49–52.
10. Shcherbak N. V., Zakhmatov V. D. Osnashchennyya viyskovikh chastin impulsnoyu tekhnikoyu dlya likvidatsii nasledstv ekologicheskikh katastrof [Military equipped with pulse technology for liquidation of the consequences of ecology disasters]. *Ekologiya i resursy — Ecology and Resource*, 2008, issue 19, pp. 73–79.
11. Impulse forest fire-fighting at the hard-to-reached areas. *Euro Mediterranean Wildfire Meetings*, France, 24–27 October 2000, pp. 24–27.
12. Zakhmatov V. D., Otkidach N. Ya., Shcherbak N. V. Novyye metody i tekhnika dlya tusheniya lesnykh pozharov [New methods and equipment for extinction of forest fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1998, vol. 7, no. 4, pp. 69–71.

**For citation:** Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Sovremennyye problemy lesnykh pozharov v Chernobylskoy zone [Problem of Chernobyl forest fires nowtime]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 55–62. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.55-62.

### **ЕВДОКИМОВ В. И., ГОРЯЧКИНА Т. Г., ПОТАШЕВ Д. А.**

**Пожарная безопасность. Аннотационный указатель отечественных патентов на изобретения. Серия: Полезная библиография** / Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А. М. Никифорова МЧС России, СПб. ун-т ГПС МЧС России. — СПб.: Политехника сервис. — Вып. 1 (1994–1999 гг.). — 2013. — 282 с.; Вып. 2 (2000–2004 гг.). — 2013. — 252 с.; Вып. 3 (2005–2009 гг.). — 2014. — 315 с.; вып. 4 (2010–2013 гг.). — 2014. — 344 с.; Вып. 5 (2014 г.). — 2015. — 119 с.

ISBN 978-5-906555-08-3.

Тираж 100 экз. Стоимость 1 комплекта — 1500 руб.



В указателе представлены библиографические данные и рефераты на отечественные патенты на изобретения, зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности РФ (Роспатент): вып. 1 — на 741 патент; вып. 2 — на 574 патента; вып. 3 — на 661 патент; вып. 4 — на 716 патентов; вып. 5 — на 246 патентов.

Библиографическое описание патентов приведено по ГОСТ 7.1–2003. Справочный аппарат: нумерационный указатель патентов и алфавитный указатель авторов.

**e-mail: 9334616@mail.ru**

**В. В. КРУДЫШЕВ**, канд. с.-х. наук, майор внутренней службы, доцент кафедры пожарной техники, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: krudishev@gmail.com)

**И. С. ЛАЗАРЕВ**, канд. с.-х. наук, капитан внутренней службы, старший преподаватель кафедры пожарной техники, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: ivanlazarev1987@mail.ru)

**А. В. ФИЛИППОВ**, канд. с.-х. наук, доцент, полковник внутренней службы, начальник кафедры пожарной техники, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: filippov\_a\_v@mail.ru)

**В. В. ТЕРЕНТЬЕВ**, канд. с.-х. наук, доцент, майор внутренней службы, доцент кафедры пожарной техники, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: terentevv@rambler.ru)

УДК 62-65;614.843

## ЗАЩИТА ВОДОПЕННЫХ КОММУНИКАЦИЙ ПОЖАРНОГО НАСОСА ОТ ЗАМЕРЗАНИЯ

Показано, что эксплуатация пожарных автоцистерн при низких температурах может привести к замерзанию заполненных водой патрубков, в результате чего функциональные возможности автоцистерны сокращаются. Описан способ поддержания температуры жидкости, позволяющий продлить срок пребывания при низких температурах. Приведены данные о методике исследования, применяемом оборудовании и полученные результаты. Сделано заключение о возможности монтажа подобной схемы на водопенные коммуникации пожарного автомобиля. Сделан вывод, что оптимальным является обогрев водопенных коммуникаций гибкими электрическими нагревательными элементами, питающимися от бортовой сети автомобиля в комплексе с теплоизоляционными материалами.

**Ключевые слова:** пожарные автомобили; низкая температура; замерзание воды; нагревательные элементы; теплоизоляция, тепловая защита.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.63-69

### Введение

Эксплуатация пожарных автоцистерн в зимних условиях показала, что при длительном нахождении в резерве, при подаче огнетушащих веществ от водисточника или при выездах на дальние расстояния возможно замерзание подводящего патрубка от цистерны к насосу (рис. 1) [1, 2]. Это происходит по причине того, что вода в трубе во время движения автомобиля, стоянки в резерве или работы от гидранта находится в неподвижном состоянии.

На пожарных автомобилях ранних лет выпуска применялась система обогрева насосного отсека за счет температуры выхлопных газов двигателя, которые подавались в специальный радиатор под насосом. Практика применения такой системы показала ее невысокую эффективность.

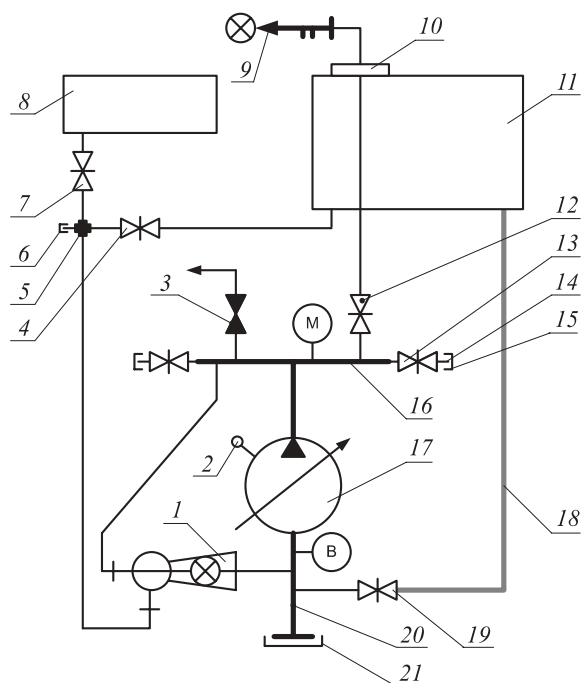
Существуют описания систем для обогрева пожарного насоса путем подачи отработанных газов двигателя [3] или сухого теплого воздуха в специальную рубашку подогрева, выполненную в корпусе насоса. Эти системы позволяют согреть вводу в насосе и тем самым предотвратить обледенение напорных рукавов и замерзание воды в магистральных

линиях. Однако в описании не указана возможность их применения для обогрева подводящего патрубка от цистерны к насосу.

В конструкции насоса NH30 Rosenbauer предусмотрена специальная отдельная герметичная камера, в которую поступает охлаждающая жидкость из радиатора двигателя. Она выполняет двойную функцию: позволяет предохранять двигатель автомобиля от перегрева в теплое время года и обогревать насос, а также частично насосный отсек в условиях отрицательных температур [4, 5]. Однако применение подобной системы требует изменения конструкции насосов отечественного производства.

В конструкции пожарных надстроек автомобилей российского производства для поддержания необходимой температуры в насосном отсеке и кабине боевого расчета применяются воздушные автономные отопители [6, 7]. Они зарекомендовали себя как достаточно эффективное средство при условии обеспечения герметизации насосного отсека, но при этом отличаются высокой стоимостью (от 17 тыс. до 100 тыс. руб. в зависимости от производителя и комплектации).





**Рис. 1.** Принципиальная схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны: 1 — пеносмеситель; 2 — пресс-масленка; 3 — вакуумный кран; 4 — вентиль; 5 — крестовина; 6, 15 — заглушки; 7 — кран; 8 — пенобак; 9 — лафетный ствол; 10 — распределительный клапан; 11 — цистерна; 12, 13 — задвижки; 14 — напорный патрубок; 16 — коллектор; 17 — пожарный насос; 18 — подводящий патрубок; 19 — клапан; 20 — всасывающий патрубок; 21 — заглушка

Одним из способов обогрева пожарного насоса и водопенных коммуникаций является применение электрических нагревательных элементов с питанием от бортовой сети автомобиля [8–10]. Однако из-за невысокой мощности подобных нагревательных элементов обогрев с их помощью всего насосного отсека представляется нецелесообразным. Подобные системы эффективнее использовать для подогрева отдельных узлов и агрегатов.

Альтернативным способом обеспечения необходимого температурного режима работы насоса и его водопенных коммуникаций является их теплоизоляция [11–15]. К недостаткам такого способа утепления насосного отсека, насоса или отдельных систем можно отнести возможность лишь сохранить установленный температурный режим и замедлить остывание насоса и его коммуникаций.

В [16] дано описание способа теплоизоляции пожарного насоса, позволяющего сохранять тепло, выделяющееся в результате трения при работе внутренних деталей насоса. Целью данного технического решения является снижение интенсивности образования льда в напорных рукавах.

В связи с вышеизложенным актуальной представляется задача по защите от замерзания подводящего патрубка от цистерны к центробежному насосу [17].

В результате анализа различных способов обогрева насосного отсека, насоса и водопенных коммуникаций пришли к выводу, что оптимальными по эффективности, энергопотреблению и удобству монтажа являются различные электрические нагревательные элементы, питающиеся от бортовой сети автомобиля. Недостаток их мощности можно компенсировать целевым применением их для обогрева конкретных узлов и теплоизоляцией.

### Экспериментальная часть

Для оценки эффективности рассматриваемого способа был проведен эксперимент. В качестве средства подогрева использовали нагревательный коврик “Емеля-1”, предназначенный для подогрева сидений легковых автомобилей. Характеристики коврика приведены в табл. 1.

Описываемый гибкий нагревательный элемент выполнен из углеродного волокна, которое имеет большую механическую прочность, не растягивается в процессе эксплуатации и не ломается после частых сгибов. Все это делает его неприхотливым к условиям эксплуатации и обеспечивает долговечную работу. Нагревательные углеродные нити внутри устройства соединены параллельно, поэтому даже после повреждения одной из них все устройство продолжает функционировать. Равномерность нагрева обеспечивается за счет оптимального расположения нагревательного элемента внутри устройства.

Для проведения эксперимента использовали металлическую емкость, имитирующую патрубок от цистерны к насосу. Диаметр емкости совпадал с диаметром патрубка подвода воды из цистерны в насос. Центральное отверстие в емкости выступало в качестве герметично закрываемой горловины для заливания воды, а боковое отверстие использовалось для ввода внутрь емкости термопары мультиметра. Термопара предварительно была пропущена через герметичную пробку, которой должно запечатываться отверстие. Для измерения температуры жидкости внутри емкости применялся цифровой мультиметр М-838.

Для определения эффективности предлагаемых решений необходимо было провести испытания выбранных материалов и оборудования в условиях,

**Таблица 1.** Характеристики коврика “Емеля-1”

| Показатель                            | Значение   |
|---------------------------------------|------------|
| Напряжение питания, В                 | 12         |
| Мощность нагревательного элемента, Вт | 50         |
| Тип нагревательного материала         | Углеродный |
| Максимальная температура нагрева, °С  | 36         |
| Габаритные размеры, мм                | 400×400    |



Рис. 2. Подготовка емкости к испытаниям



Рис. 3. Собранный эксперимент и фрагменты проведения испытаний

приближенных к реальным. Испытания проводили в три этапа:

1) измерение снижения температуры жидкости внутри емкости без средств утепления, что имитировало реальные условия эксплуатации заполненных водопенных коммуникаций пожарных автоцистерн в условиях низких температур;

2) оценка эффективности теплоизоляции емкости [18] путем определения времени снижения температуры жидкости внутри ее и сравнения с результатами измерений первого этапа;

3) оценка эффективности комплексной защиты емкости теплоизоляцией и нагревательным элементом путем сравнения результатов измерения с предыдущими двумя этапами.

Испытания проводились в декабре 2014 г. в одинаковых условиях, на улице, при температуре воздуха минус 22 °С. На рис. 2 и 3 представлены фотоматериалы по подготовке емкости и проведению испытаний.

Для питания энергией нагревательного элемента использовали автомобильный аккумулятор 6СТ 62 LA. Как видно из рис. 3, емкость располагалась на улице, источник энергии и мультиметр — в помещении. Это необходимо для обеспечения нормальных условий работы аккумулятора и измерительного прибора.

Таблица 2. Температура\* воды в испытательной емкости

| Этап | Время контроля, мин, температуры, °С |    |    |    |    |     |     |     |        |
|------|--------------------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|--------|
|      | 0**                                  | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160*** |
| 1    | 16                                   | 14 | 11 | 10 | 9  | 7   | 5   | 2   | 0      |
| 2    | 16                                   | 15 | 13 | 11 | 10 | 9   | 8   | 6   | 4      |
| 3    | 16                                   | 15 | 14 | 13 | 13 | 12  | 12  | 11  | 10     |

\* Значения температуры округлены до целых значений.

\*\* Емкость заполнялась водой из цистерны пожарного автомобиля, поэтому начальная температура соответствует температуре воздуха в пожарном депо.

\*\*\* Время окончания испытания, при котором температура воды в емкости на первом этапе достигла 0 °С.

Первый этап испытания продолжался 3 ч, до достижения температуры жидкости внутри емкости 0 °С. Затем холодную воду из емкости выливали и на ее место заливали воду из цистерны пожарного автомобиля, и начинался второй этап. Через 3 ч испытаний воду вновь меняли и приступали к третьему этапу. Результаты измерений приведены в табл. 2.

### Результаты и их обсуждение

По результатам измерений был построен график, наглядно показывающий разницу температур на разных этапах испытания (рис. 4). Без тепловой

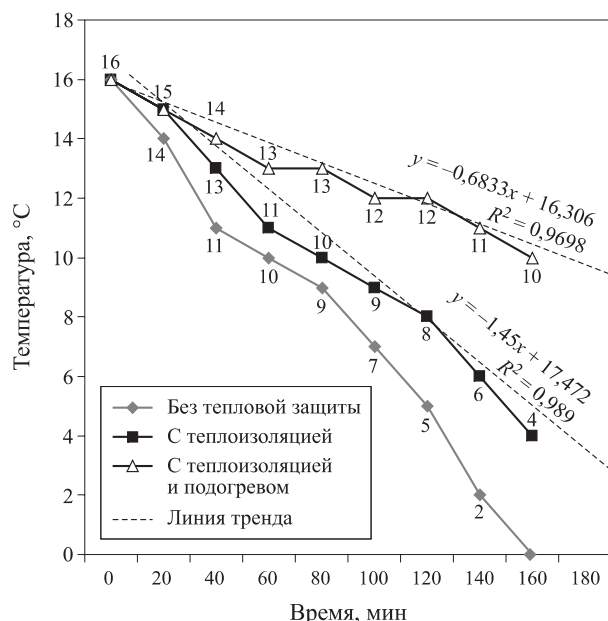


Рис. 4. Результаты измерения времени охлаждения жидкости

защиты замерзание воды в емкости начиналось через 160 мин. Теплоизоляция позволяла дольше сохранять тепло внутри емкости: через 160 мин температура воды составляла 4 °С. Построив линии тренда, получили прогноз, в соответствии с которым температура внутри емкости достигнет 0 °С через 220 мин (или 3,7 ч). Комплексная тепловая защита, состоящая из теплоизоляции и нагревательного элемента, позволила намного дольше сохранять тепло внутри испытываемой емкости: через 160 мин температура воды равнялась 10 °С. По уравнению математической зависимости изменения температуры воды от времени нахождения при заявленных условиях определили, что время остывания воды до 0 °С составит 477 мин (или почти 8 ч).

На рис. 5 представлена схема монтажа рассмотренного варианта комплексной тепловой защиты подводящего патрубка от цистерны к пожарному на-

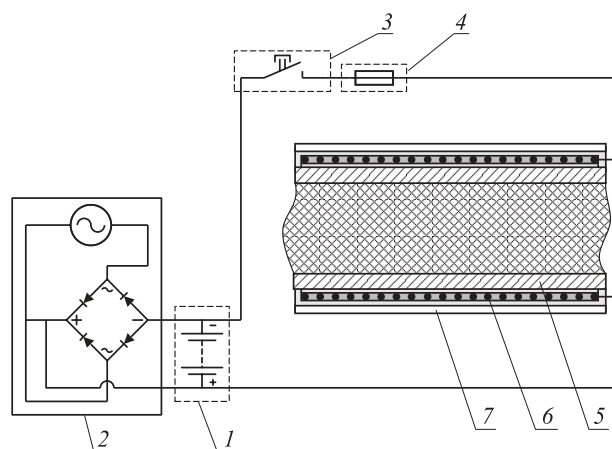


Рис. 5. Схема монтажа комплексной тепловой защиты: 1 — аккумуляторная батарея; 2 — генератор автомобиля; 3 — кнопка включения; 4 — плавкий предохранитель; 5 — трубопровод; 6 — нагревательный элемент; 7 — теплоизоляция

сосу с подключением к бортовой сети автомобиля и выводом в кабину водителя или насосный отсек кнопки включения.

## Выводы

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что исследуемый способ сохранения тепла в водопенных коммуникациях достаточно эффективен. Он может быть использован на автоцистернах, эксплуатируемых в условиях низких температур, при длительном тушении сложных пожаров, при работе от водоисточника или при нахождении техники в резерве. Если же пожар незатяжной и ожидаемое время тушения не превысит 3,5 ч, то вполне эффективным способом предохранения водопенных коммуникаций от замерзания будет являться их теплоизоляция с помощью современных материалов.

Практический интерес представляет изучение эффективности описанного выше способа в реальных условиях на пожарных автоцистернах с вариацией мощности нагревательного элемента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Желваков Е. М. Обеспечение технической готовности и работоспособности пожарных автоцистерн объектовых пожарных частей в условиях низких температур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2001.
2. Westphal J. A self-contained heating system for cold weather operation of fire fighting trucks // SAE Technical Paper # 770676. — 1977. — 12 p. DOI: 10.4271/770676.
3. Пат. 2372123 Российская Федерация. МПК А62С 27/00 (2006.01), А62С 33/00 (2006.01). Способ подогрева насоса пожарной машины для низкотемпературных условий / Савин М. А., Кошмаров Ю. А., Исаков Х. И., Казаков В. Н., Емельянов Е. А., Иванов В. А., Семиноженко В. В., Шнайдер А. В., Загородников Д. Ю., Селянин Т. Б., Савина О. М. — № 2008108593/12; заявл. 04.03.2008; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.
4. Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4 (43253), модель 001-МС. Руководство по эксплуатации 001-МС-00-000-00РЭ / ЗАО "ПО "Спецтехника пожаротушения". — М., 2010. — 100 с.
5. Feurecker G., Schäfer B., Strauss T. Auxiliary heating systems of conventional and heat pump type: technology, performance and efficiency // SAE Technical Paper # 2005-01-2055. — 2005. — 11 p. DOI: 10.4271/2005-01-2055.

6. *Алексанян Г.* Автономные воздушные отопители // Основные средства. Журнал о спецтехнике и автотранспорте. — 1998. — № 8. URL: [http://www.os1.ru/article/service/1998\\_08\\_A\\_2005\\_10\\_27-15\\_07\\_40](http://www.os1.ru/article/service/1998_08_A_2005_10_27-15_07_40) (дата обращения: 22.12.2014).
7. Автоцистерна пожарная АЦ 8,0 на базе КамАЗ-43118 / Сайт ОАО “Уральский завод пожарной техники”. URL: <http://www.uralpt.ru/catalog/avtotsisterny-pozharnye/avtotsisterna-pozharna-ats-80-40-na-baze-kamaz-43118> (дата обращения: 22.12.2014).
8. Элементы нагревательные гибкие ленточные. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. — СПб. : ООО “ГидроТермСоюз”, 2014.
9. *Плохов И. В., Павлов А. Б.* Выкидные подогреваемые трубопроводы в нефтяной промышленности // Вестник Псковского государственного университета. Сер.: Экономические и технические науки. — 2013. — № 2. — С. 195–198. URL: [http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/wt/wet02/wet02\\_30.pdf](http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/wt/wet02/wet02_30.pdf) (дата обращения: 28.06.2015).
10. *Смирнов В. В.* Локальные зоны электрообогрева. Проблема замерзания обратных клапанов устьевой арматуры // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. — 2012. — № 5. — С. 488–495. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/SmirnovVV/SmirnovVV\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/SmirnovVV/SmirnovVV_1.pdf) (дата обращения: 28.06.2015).
11. Пат. на полезную модель 68324 Российская Федерация. МПК А62С 11/00 (2006.01). Насос пожарной машины для зимних условий / Савин М. А., Кошмаров Ю. А., Исхаков Х. И., Бяков А. В., Контобойцев Е. А., Гигин С. К., Караваев А. Л., Порваткин Д. С., Савина О. М., Гилев И. Г. — № 2007128405/22; заявл. 23.07.2007; опублик. 27.11.2007.
12. Утепление отсеков пожарной надстройки / Сайт ООО “Урал-Сибирская пожарно-техническая компания”. URL: <http://www.usptk.ru/uslugi/3807/> (дата обращения: 22.12.2014).
13. *Дулькин А. Б., Дулькин Б. А., Голованчиков А. Б.* Оценка времени замерзания воды в трубопроводе // Известия ВолгГТУ. — 2014. — Т. 7, № 1(128). — С. 19–22.
14. *Шарипова Н. Д., Давыдов А. Н.* Анализ теплоизоляционных покрытий трубопроводов на примере трубопроводной системы “Заполярье Пурпе”. Системы электрообогрева // Современные наукоемкие технологии. Материалы конференции. — 2014. — № 5. — С. 134–135. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/> (дата обращения: 28.06.2015).
15. *Karnaukhov N. N., Yarkin A. V., Kruk A. R.* System for preheating of internal combustion engine operating in cold weather conditions // Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2015. — Vol. 10, Issue 1. — P. 7–10. DOI: 10.3923/jeasci.2015.7.10.
16. *Белоусов В. С., Савин М. А., Саркисов С. В.* Эксергетическая оценка эффективности использования теплоты для самоподогрева воды насосом пожарного автомобиля // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 65–72.
17. *Савин М. А., Хафизов Ф. Ш.* Пути и способы повышения приспособленности специальной мобильной техники к низкотемпературным условиям для их эффективной эксплуатации // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. — 2014. — № 6. — С. 606–633. URL: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2014/ogbus\\_6\\_2014\\_p606-633\\_SavinMA\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p606-633_SavinMA_ru.pdf) (дата обращения: 22.12.2014).
18. Изолон. Сайт компании “Теплоизол”. URL: <http://teploizol.ru/products/list.php?SID=81> (дата обращения: 23.12.2014).

Материал поступил в редакцию 17 июля 2015 г.

**Для цитирования:** Крудышев В. В., Лазарев И. С., Филиппов А. В., Терентьев В. В. Защита водопенных коммуникаций пожарного насоса от замерзания // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 63–69. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.63-69.

English

## PROTECTION OF WATER FOAM COMMUNICATIONS OF FIRE PUMP AGAINST FREEZING

**KRUDYSHEV V. V.**, Candidate of Agricultural Sciences, Major in the Internal Service, Assistant Professor of Firefighting Equipment Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: krudishev@gmail.com)



**LAZAREV I. S.**, Candidate of Agricultural Sciences, Captain in the Internal Service, Senior Teacher of Firefighting Equipment Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: ivanlazarev1987@mail.ru)

**FILIPPOV A. V.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Colonel in the Internal Service, Head of Firefighting Equipment Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: filippov\_a\_v@mail.ru)

**TERENTYEV V. V.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Major in the Internal Service, Assistant Professor of Firefighting Equipment Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: terentevv@rambler.ru)

## ABSTRACT

Operating experience of water tenders was shown that water freezing in tank branch pipes is possible at low temperatures. Therefore it is necessary to provide the demanded temperature conditions for ensuring reliability and operability of fire engines.

The analysis of various ways of water protection against freezing in branch pipes revealed that heating of water foam communications by the flexible electric heating elements powered from an in vehicle network of the engine along with the using of thermal insulating materials is optimized.

To evaluate the efficiency of such elements we chose a metal reservoir with the diameter close to the delivery pipe from the tank to the pump and placed temperature control thermocouple inside it. The experiment consisted of three stages: without any protection, with the use of thermal insulating material and with the complex protection containing both heating element and thermal insulating material. The reservoir was filled with 16 °C temperature water and then placed outside at temperature –22 °C. The temperature values were controlled by digital multimeter and thermocouple connected to it.

The results of measurements showed that without thermal protection water freezing starts in 160 minutes, with thermal insulation it starts in 220 minutes, and with the complex protection — in 477 minutes. Thus, it is possible to apply both ways of protection. The thermal insulation can be constantly used, and heating process can be applied at considerable decreasing of air temperature.

**Keywords:** fire engines; low temperature; water freezing; heating elements; thermal insulation; thermal protection.

## REFERENCES

1. Zhelvakov E. M. *Obespecheniye tekhnicheskoy gotovnosti i rabotosposobnosti pozharnykh avtotsistern obyektovykh pozharnykh chastey v usloviyakh nizkikh temperatur. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Providing technical availability and operability of water tenders in special fire units in low temperature conditions. Abstr. cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2001.
2. Westphal J. A self-contained heating system for cold weather operation of fire fighting trucks. *SAE Technical Paper* # 770676, 1977. 12 p. DOI: 10.4271/770676.
3. Savin M. A., Koshmarov Yu. A., Iskhakov Kh. I., Kazakov V. N., Emelyanov E. A., Ivanov V. A., Seminozhenko V. V., Shnayder A. V., Zagorodnikov D. Yu., Selyanin T. B., Savina O. M. *Sposob podogreva nasosa pozharной mashiny dlya nizkotemperaturnykh usloviy* [Method to heat fire engine pump in low temperatures]. Patent RU, no. 2372123, 10.11.2009.
4. *Pozharnaya avtotsisterna ATs-3,2-40/4 (43253), model 001-MS. Rukovodstvo po ekspluatatsii 001-MS-00-000-00RE. ZAO "PO "Spetsstekhnika pozharotusheniya"* [Water tender ATs-3,2-40/4 (43253), model 001-MS. Operation manual 001-MS-00-000-00RE. JCS "PD Firefighting Special Machinery"]. Moscow, 2010. 100 p.
5. Feuerecker G., Schäfer B., Strauss T. Auxiliary heating systems of conventional and heat pump type: technology, performance and efficiency. *SAE Technical Paper* # 2005-01-2055, 2005. 11 p. DOI: 10.4271/2005-01-2055.

6. Aleksanyan G. Avtonomnyye vozduzhnyye otopiteli [Self-contained air heaters]. *Osnovnyye sredstva. Zhurnal o spetsstekhnike i avtotransporte — Basic assets. Specialized Machines and Motor Transport Magazine*, 1998, no. 8. Available at: [http://www.osl.ru/article/service/1998\\_08\\_A\\_2005\\_10\\_27-15\\_07\\_40](http://www.osl.ru/article/service/1998_08_A_2005_10_27-15_07_40) (Accessed 22 December 2014).
7. Avtotsisterna pozharnaya ATs 8,0 na baze KamAZ-43118 [Water tender ATs 8,0 on the KAMAZ-43118 base]. Available at: <http://www.uralpt.ru/catalog/avtotsisterny-pozharnye/avtotsisterna-pozharnaya-ats-80-40-na-baze-kamaz-43118> (Accessed 22 December 2014).
8. *Elementy nagrevatelnyye gibkiye lentochnyye. Tekhnicheskoye opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii* [Heating flexible strip elements. Technical specification and operation manual]. Saint Petersburg, LLC “GidroTermSoyuz” Publ., 2014.
9. Plokhov I. V., Pavlov A. B. Vykidnyye podogrevayemyye truboprovody v neftyanoy promyshlennosti [Heated pipelines in oil industry]. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomicheskkiye i tekhnicheskkiye nauki — Bulletin of Pskov State University. Seriya: Economical and Technical Sciences*, 2013, no. 2, pp. 195–198. Available at: [http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/wt/wet02/wet02\\_30.pdf](http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/wt/wet02/wet02_30.pdf) (Accessed 28 June 2015).
10. Smirnov V. V. Lokalnyye zony elektroobogreva. Problema zamerzaniya obratnykh klapanov ustyevoy armatury [Local area electrical heating. Check valves of christmas tree freezing problem]. *Neftegazovoye delo. Elektronnyy nauchnyy zurnal — Oil and Gas Business. Electronic scientific journal*, 2012, no. 5, pp. 488–495. Available at: [http://www.ogbus.ru/authors/SmirnovVV/SmirnovVV\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/SmirnovVV/SmirnovVV_1.pdf) (Accessed 28 June 2015).
11. Savin M. A., Koshmarov Yu. A., Iskhakov Kh. I., Byakov A. V., Kontoboytsev Ye. A., Gigin S. K., Karavaev A. L., Porvatkin D. S., Savina O. M., Gilev I. G. *Nasos pozharnoy mashiny dlya zimnikh usloviy* [Fire engine pump for winter conditions]. Patent RU, no. 68324, 27.11.2007.
12. *Utepleniye otsekov pozharnoy nadstroyki* [Compartments warming of fire superstructure]. Available at: <http://www.usptk.ru/uslugi/3807/> (Accessed 22 December 2014).
13. Dulkan A. B., Dulkan B. A., Golovanchikov A. B. Otsenka vremeni zamerzaniya vody v truboprovode [Assessment of time of freezing of water in the pipeline]. *Izvestiya VolgGTU — Izvestia VSTU*, 2014, vol. 7, no. 1(128), pp. 19–22.
14. Sharipova N. D., Davydov A. N. Analiz teploizolyatsionnykh pokrytiy truboprovodov na primere truboprovodnoy sistemy “Zapolyarye Purpe”. Sistemy elektroobogreva [The analysis of heat-insulating coverings of pipelines on the example of pipeline system “Polar Region to Purpa”. Systems of an electrical heating]. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. Materialy konferentsii — Modern High Technologies. Materials of conference*, 2014, no. 5, pp. 134–135. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/> (Accessed 28 June 2015).
15. Karnaukhov N. N., Yarkin A. V., Kruk A. R. System for preheating of internal combustion engine operating in cold weather conditions. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2015, vol. 10, issue 1, pp. 7–10. DOI: 10.3923/jeasci.2015.7.10.
16. Belousov V. S., Savin M. A., Sarkisov S. V. Eksergeticheskaya otsenka effektivnosti ispolzovaniya teploty dlya samopodogreva vody nasosom pozharnogo avtomobilya [Exergic assessment of efficiency of heat application for self-heating of water by means of fire engine’s pump]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 65–72.
17. Savin M. A., Khafizov F. Sh. Puti i sposoby povysheniya prispособlennosti spetsialnoy mobilnoy tekhniki k nizkotemperaturnym usloviyam dlya ikh effektivnoy ekspluatatsii [Ways and means of low-temperature adaptivity enhancement of specialized mobile equipment for its effective operation]. *Neftegazovoye delo. Elektronnyy nauchnyy zurnal — Oil and Gas Business. Electronic scientific journal*, 2014, no. 6. Available at: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2014/ogbus\\_6\\_2014\\_p606-633\\_SavinMA\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p606-633_SavinMA_ru.pdf) (Accessed 22 December 2014).
18. Izolon. Available at: <http://teploizol.ru/products/list.php?SID=81> (Accessed 23 December 2014).

**For citation:** Krudyshev V. V., Lazarev I. S., Filippov A. V., Terentyev V. V. Zashchita vodopennykh kommunikatsiy pozharnogo nasosa ot zamerzaniya [Protection of water foam communications of fire pump against freezing]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 63–69. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.63-69.

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

**А. Ф. ШАРОВАРНИКОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA\_kbs@mgsu.ru)

**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)

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

**А. И. МЕЛЬНИКОВ**, 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

## ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ИНГИБИТОРОМ

Рассмотрен процесс огнетушащего действия химически активных ингибиторов при тушении пламени горючих жидкостей. Представлена оригинальная методика для исследования процесса тушения пламени фреоном. Проведены экспериментальные исследования процесса тушения пламени путем измерения времени тушения и удельного расхода фреона, поданного на горящую поверхность жидкости. На основе экспериментальных данных представлены зависимости времени тушения и удельного расхода фреона от интенсивности подачи распыленной струи. В качестве горючих жидкостей использовали *n*-гептан, дизельное топливо и этанол, которые тушили с использованием тетрафтордибромэтана — фреона 114B2, имеющего относительно высокую температуру кипения (около 60 °С). Эксперименты проводили в двух режимах распыления жидкой струи хладона, которые характеризовались средним диаметром капель соответственно около 80 и 20 мкм. Показано, что увеличение степени дисперсности струи фреона с 80 до 20 мкм привело к резкому повышению огнетушащей способности, что выразилось в снижении критической интенсивности в 2 раза, а удельного расхода при тушении пламени гептана и дизельного топлива в 3–4 раза. Установлена общая закономерность процесса тушения фреоном 114B2 дизельного топлива, гептана и этанола, которая выражается в наличии экстремальной зависимости удельного расхода фреона от интенсивности подачи струи огнетушащего состава, что связано с возникновением сопутствующего фактора — увлечения кислорода воздуха струей диспергированной жидкости.

**Ключевые слова:** химически активные ингибиторы; тушение пламени горючих жидкостей; огнетушащая эффективность хладона; удельный расход фреона; механизм процесса тушения фреоном.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76

Газовые огнетушащие составы (ГОС) условно делятся на нейтральные (негорючие) газы (НГ) и химически активные ингибиторы (ХАИ). К нейтральным газам относятся инертные газы аргон, гелий, а также азот и диоксид углерода [1]. Последний может применяться в смеси с инертными газами. К химически активным ингибиторам относятся органические фторсодержащие соединения, молекулы которых могут содержать атомы галогенов, например брома или хлора. Ввиду агрессивности бромсодержащих соединений в отношении озонового слоя Земли их заменяют “альтернативными” хладонами,

такими, например, как хладон 227ea (HFC-227ea, FM-200), гептафторпропан ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$ ) (компания “DuPont”) или фторированный кетон (флуорокетон C-6, фторкетон) (компания “ЗМ”), который построен на основе шестиуглеродной химической молекулы  $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$  [2, 3]. Эти соединения имеют относительно высокую температуру кипения, что позволяет хранить их в баллонах с низким давлением. Они подаются в очаг горения в виде струи распыленной жидкости, капли которой быстро испаряются в зоне горения.

© Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н., Власов Н. А., Мельников А. И., 2015

Хладоны — это общее название галогензамещенных углеводородов. Огнетушащая способность хладонов, как правило, тем выше, чем больше атомов брома, фтора и хлора в молекуле.

С учетом вновь возросшего интереса к хладам — химически активным ингибиторам пламени в настоящей работе рассмотрен процесс их огнетушащего действия при тушении пламени горючих жидкостей.

Соединения углерода с фтором и бромом в различных пропорциях оказались низкотоксичными [4]. Наиболее широко применялись бромтрифторметан (хладон 1301) и бромхлордифторметан (хладон 1211), а также тетрафтордибромэтан (хладон 2402, или фреон 114В2), но в связи с возможным негативным воздействием их на озоновый слой NFPA рекомендовал ограничить их применение [5].

Огнетушащие концентрации этих составов находятся в пределах 4,6–4,8 % об. Наиболее эффективными являются хладоны 114В2 и 13В1. Флегматизирующая концентрация этих газов для гексано-воздушных смесей составляет соответственно 3,5 и 5,5 % об.

Механизм огнетушащего действия химически активных ингибиторов определяется химической структурой их молекул, содержащих, как правило, несколько разнородных атомов, в том числе атомы брома, фтора, хлора и один или два атома углерода (возможно также наличие атомов водорода) [1].

В практике тушения пожаров длительное время использовались хладоны  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ ,  $\text{CF}_3\text{Br}$  и  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$  и их смеси с диоксидом углерода. Огнетушащие концентрации (объемные) ХАИ в 5–10 раз ниже, чем у нейтральных газов. Это обусловлено тем, что, имея низкую температуру кипения, капли хладона легко испаряются в зоне горения. Благодаря высокой теплоемкости молекулы фреона поглощают тепло реакции горения, разлагаясь при этом в пламени при относительно невысоких температурах (до 1000 К). Часть тепла реакции горения будет расходоваться на испарение капель жидкости и разогрев молекул ингибитора, вторая — поглощаться в процессе распада ингибитора, и лишь третья часть пойдет на разогрев собственно горючего и окислителя. Вследствие ингибирования реакции часть горючего не будет участвовать в горении, что приведет к снижению общего количества тепла, выделяющегося при горении [6–9].

Хладон Noves 1230 компании “3М™” (перфторированный кетон), иногда называемый “сухой водой”, представляет собой бесцветную прозрачную жидкость со слабо выраженным запахом, которая не проводит электричество и тяжелее воды в 1,6 раз. Хладон при комнатной температуре находится в жидком состоянии и хранится при низком давлении. Обра-

щение с этим веществом и зарядка им систем тушения значительно проще по сравнению с другими хладами. Noves 1230 входит в перечень веществ, разрешенных к применению на территории России, под наименованием “хладон ФК-5-1-12”.

Жидкое исходное состояние Noves 1230 с температурой кипения 49 °С позволяет использовать для этого хладона технологию и оборудование, аналогичные применяемым для наиболее эффективного хладона 114В2, который также является жидкостью с температурой кипения 60 °С. Для испытаний огнетушащей эффективности хладона в связи с доступностью получения использовали фреон 114В2.

Экспериментальные исследования процесса тушения пламени проводили путем измерения времени тушения и удельного расхода фреона, поданного на горящую поверхность жидкости. Для получения более полной информации процесс тушения проводили в широком диапазоне интенсивности подачи фреона. Для выявления особых точек на основе экспериментальных данных строили зависимость времени тушения и удельного расхода фреона от интенсивности подачи распыленной струи.

Основной сложностью при проведении огневых экспериментов является определение количества фреона, расходуемого на тушение пламени. Для преодоления этой проблемы использовали методику, в которой поток фреона останавливали резким перевертыванием подающего устройства. Схема устройства подачи фреона в зону горения представлена на рис. 1.

Фреон подается к распылителю, находящемуся в вертикальном положении, когда заборная трубка погружена во фреон. При подъеме носика распылителя после тушения основание трубки оказывается

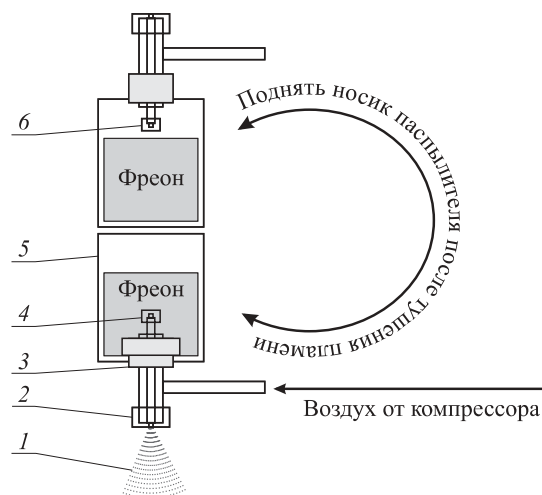


Рис. 1. Схема поворотного узла подачи фреона в факел пламени горючей жидкости: 1 — струя фреона; 2 — распылитель; 3 — разъемная крышка; 4 — калиброванный насадок во фреоне; 5 — стеклянная емкость; 6 — калиброванный насадок в воздухе





**Рис. 2.** Фрагменты процесса тушения пламени гептана распыленной струей фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

в воздухе, и фреон перестает поступать к распылителю. Благодаря тому, что подающая фреон линия очень короткая, остаточным количеством фреона в линии пренебрегали. Расход фреона регулировали путем изменения свободного сечения заборной трубки в ее нижней части, размер которого уменьшали путем сплющивания ее основания.

В качестве горючих жидкостей использовали *n*-гептан, дизельное топливо и этиловый спирт, для тушения которых применяли тетрафтордибромэтан — фреон 114B2.

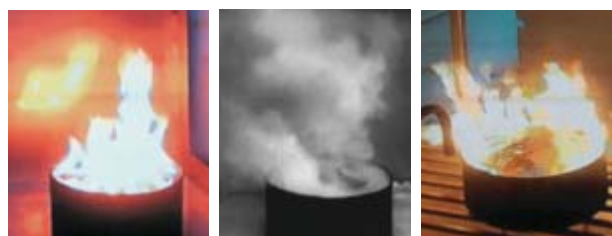
Эксперименты проводили в двух режимах распыления жидкой струи хладона, которые характеризовались средним диаметром капель соответственно около 80 и 20 мкм.

В начале процесса тушения гептана (рис. 2) при подаче распыленной струи фреона происходило резкое увеличение объема факела пламени. Этот эффект обусловлен дополнительным притоком кислорода воздуха, увлекаемого распыленной струей. В дальнейшем в зоне горения гептана повышалась концентрация паров фреона, а при достижении флегматизирующей концентрации происходило прекращение горения.

Характер процесса тушения дизельного топлива (рис. 3) отличается тем, что зона горения находится непосредственно у горящей поверхности углеводорода. Капли фреона размером 80 мкм только частично испаряются в газовой фазе. Основная часть потока капель достигает горящей поверхности гептана, имеющей температуру свыше 150 °С. Часть капель, имеющих низкую температуру кипения (около 60 °С), испаряются в потоке восходящих паров углеводорода, а другая — при непосредственном контакте с горящим топливом.

Картина тушения, так же как и в случае с гептаном, характеризуется резким увеличением размеров факела пламени. Затем поверхность горения частично освобождается от пламени, а при достижении в слое паровоздушной среды концентрации, равной флегматизирующей, наступает ликвидация горения.

Процесс тушения этанола (рис. 4) во многом схож с тушением дизельного топлива. В первый момент происходит расширение факела пламени. Температура факела пламени этанола выше, чем у дизельного топлива, за счет низкой излучающей способности.



**Рис. 3.** Фрагменты процесса тушения пламени дизельного топлива распыленной струей фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм



**Рис. 4.** Фрагменты процесса тушения пламени этилового спирта распыленной струей фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

Поэтому, несмотря на то что температура горящего этанола около 85 °С, капли фреона испаряются, не погружаясь в толщу этанола. Тушение пламени этанола происходит так же, как и в случае с дизельным топливом, непосредственно у горящей поверхности.

Как и ожидалось, при тушении пламени горючих жидкостей с высокой температурой вспышки процесс тушения сосредотачивается у горящей поверхности и происходит за счет испарения капель, контактирующих с кипящей жидкостью. Тушение пламени гептана проходит в газовой фазе, где капли фреона, частично испаряясь, создают флегматизирующую концентрацию со смесью паров горючего и воздуха.

Результаты экспериментов по тушению пламени горючих жидкостей распыленной струей фреона представлены на рис. 5–8. Для детального исследования процесса тушения эксперименты проводили в широком диапазоне интенсивностей подачи огнетушащего состава, что позволило выявить оптимальные параметры процесса тушения и показать роль сопутствующего фактора, который выражается в дополнительном притоке в зону горения кислорода воздуха.

Кривые, характеризующие зависимость времени тушения от интенсивности, имеют экспоненциальную форму, изменяясь от больших значений времени при малой интенсивности подачи струи хладона до более низких постоянных значений при высокой интенсивности. Для всех исследованных жидкостей удельный расход фреона проходит через минимум, положение которого на кривых расхода соответствует оптимальной интенсивности подачи хладона.

Капли фреона отличаются большей массой и более низкой температурой кипения по сравнению с водой. Плотность фреона 114B2 в 2,2 раза выше, чем у воды, а температура кипения почти вдвое ниже. В связи с этим прекращение горения струей фреона с размером капель 80 мкм происходит непосредственно по плоскости раздела *горючее – воздух*, где наблюдается интенсивное испарение капель фреона при контакте его с нагретой в процессе горения жидкостью. Капли фреона, соприкасаясь с нагретым до 150–180 °С поверхностным слоем, вскипают и вместе с испаряющимися молекулами горючего поступают в зону горения. Если вся горящая поверхность орошается каплями фреона, то горение прекращается за несколько секунд. Если площадь горения больше орошаемой поверхности, то пламя быстро перемещается к неорошаемым участкам горячей поверхности. Эффект тушения достигается, если площадь орошаемой поверхности составляет более 60 % общей площади горения. Следовательно, механизм процесса тушения горючих жидкостей сопровождается формированием тушащего слоя с фреоном непосредственно у горячей поверхности жидкости. Для повышения эффективности тушения пламени хладон необходимо использовать распылители с углом распыла не менее 90°.

Судя по минимальному удельному расходу фреона при тушении гептана и дизельного топлива коэффициент использования фреона для гептана заметно ниже. В связи с этим минимальный удельный расход фреона при тушении пламени гептана на порядок выше, чем при тушении пламени дизельного топлива и этанола.

Этот эффект, в первую очередь, связан со сравнительно высокой скоростью выгорания гептана — порядка 0,05 кг/(м<sup>2</sup>·с), тогда как скорость горения этанола 0,01–0,02 кг/(м<sup>2</sup>·с), а дизельного топлива

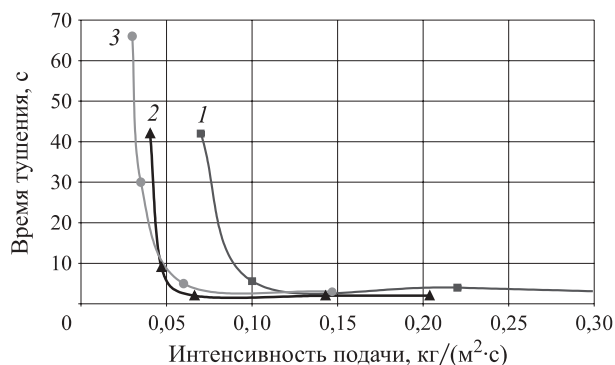


Рис. 5. Зависимость времени тушения пламени гептана (1), дизельного топлива (2) и этанола (3) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

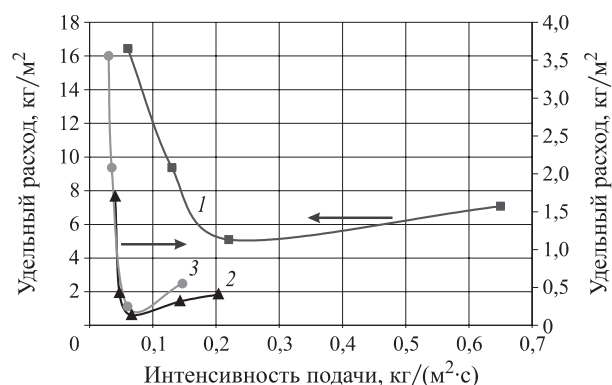


Рис. 6. Зависимость удельного расхода фреона 114B2 при тушении пламени гептана (1), дизельного топлива (2) и этанола (3) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средним размером капель 80 мкм

— вдвое ниже [10, 11]. Чем выше скорость поступления паров горючего в зону горения, тем больше требуется фреона для обеспечения флегматизации горючей смеси.

Тушение пламени горючих жидкостей фреоном высокой дисперсности (средний размер капель 20 мкм) происходило в газовой фазе при тушении как гептана, так и дизельного топлива. Благодаря малым размерам капли фреона практически полностью испарялись в зоне горения, и при достижении его флегматизирующей концентрации в слое паровоздушной смеси горение прекращалось.

Так же как и при дисперсности 80 мкм, наблюдается характерная зависимость времени тушения и удельного расхода фреона дисперсностью 20 мкм от интенсивности его подачи (рис. 7). Критическая интенсивность подачи фреона резко снижается в сравнении с фреоном дисперсностью 80 мкм.

Результаты сравнительного графического анализа процесса тушения пламени струей фреона разной дисперсности показаны на рис. 8 на примере тушения гептана и дизельного топлива. Из рис. 8 видно, что как критическая, так и оптимальная ин-

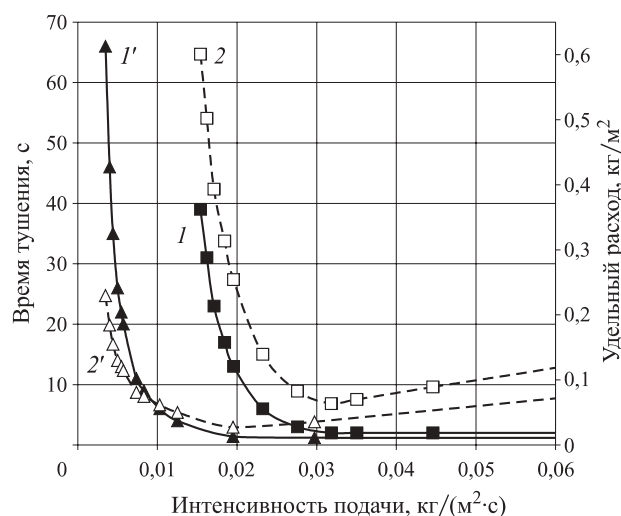


Рис. 7. Зависимость времени тушения ( $I$ ,  $I'$ ) и удельного расхода фреона ( $2$ ,  $2'$ ) при тушении пламени гептана ( $I$ ,  $2$ ) и дизельного топлива ( $I'$ ,  $2'$ ) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средним размером капель 20 мкм

тенсивности резко снижаются (практически в два раза) при использовании струи высокой дисперсности. Так, критическая интенсивность при тушении гептана снизилась с 0,07 до 0,04 кг/(м<sup>2</sup>·с), дизельного топлива — с 0,015 до 0,008 кг/(м<sup>2</sup>·с). Полученные результаты показывают необычайно высокую эффективность фреона дисперсностью до 20 мкм.

В сравнении с тушением гептана и дизельного топлива, проведенным с использованием огнетушащих порошков [12, 13], удельный расход распыленного фреона при критической интенсивности его подачи на порядок ниже. Так, минимальный удельный расход фреона при тушении пламени гептана составил 0,07 кг/м<sup>2</sup>, дизельного топлива — 0,03 кг/м<sup>2</sup>, в то время как удельный расход порошка при тушении гептана — 1,2 кг/м<sup>2</sup>, дизельного топлива — 0,8 кг/м<sup>2</sup> [14, 15], т. е. фреон практически на порядок эффективнее порошка.

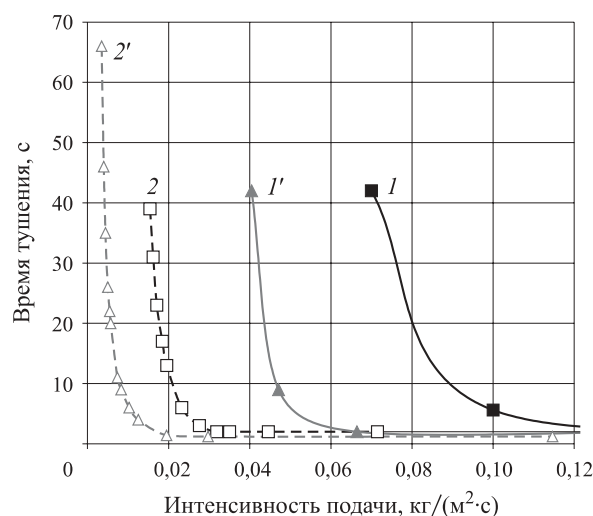


Рис. 8. Зависимость времени тушения пламени гептана ( $I$ ,  $I'$ ) и дизельного топлива ( $2$ ,  $2'$ ) от интенсивности подачи распыленной струи фреона 114B2 со средней дисперсностью 80 мкм ( $I$ ,  $2$ ) и 20 мкм ( $I'$ ,  $2'$ )

Исследования по тушению пламени горючих жидкостей фреоном 114B2 позволили выявить общую закономерность процесса тушения фреоном, которая выражается в наличии экстремальной зависимости его удельного расхода от интенсивности подачи. Это связано с возникновением сопутствующего фактора — увлечения кислорода воздуха струей диспергированной жидкости.

Увеличение степени дисперсности струи фреона с 80 до 20 мкм привело к резкому повышению его огнетушащей способности, что выразилось в снижении критической интенсивности в 2 раза, а удельного расхода при тушении пламени гептана и дизельного топлива — в 3–4 раза.

Огнетушащая эффективность тонкораспыленной струи фреона 114B2 при тушении пламени гептана и дизельного топлива оказалась на порядок выше по сравнению с огнетушащей эффективностью порошков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
2. Решения Девятого совещания сторон Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. — Монреаль, 1997. URL: <http://www.un.org/ru/documents/declconv> (дата обращения: 10.08.2015).
3. Production and Consumption of Ozone Depleting Substances. 1986–1995. — UNEP, OzoneSecretariat, 1997.
4. Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. — М. : Химия, 1988. — 592 с.
5. NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2012 Edition. — National Fire Protection Association, 2012.
6. Галогенсодержащие пожаротушающие агенты: свойства и применение : справ. изд. / Под ред. Н. П. Копылова. — СПб. : ТЕЗА, 1999. — 127 с.
7. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 267 с.

8. 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.
9. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
10. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
11. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 63–68.
12. Баратов А. Н., Вогман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. — М.: Стройиздат, 1982. — 72 с.
13. Куцук В. А., Долговидов А. В., Полежаев В. А. Тушение модельного очага максимального ранга из автоматических установок порошкового пожаротушения (АУП). Крупные пожары: предупреждение и тушение: матер. Всерос. науч.-практ. конф. — М.: ВНИИПО, 2001. — Ч. 2. — 585 с.
14. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
15. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.

*Материал поступил в редакцию 15 августа 2015 г.*

**Для цитирования:** Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н., Власов Н. А., Мельников А. И. Тушение пламени горючих жидкостей химически активным ингибитором // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76.

English

## SUPPRESSION OF A FLAME OF COMBUSTIBLE LIQUIDS BY REACTION INHIBITOR

**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: ICA\_kbs@mgisu.ru)

**SHAROVARNIKOV A. F.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA\_kbs@mgisu.ru)

**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: ICA\_kbs@mgisu.ru)

**VLASOV N. A.**, Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA\_kbs@mgisu.ru)

**MELNIKOV A. I.**, Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA\_kbs@mgisu.ru)

### ABSTRACT

Process of fire extinguishing effect of reaction inhibitors during suppression of a flame of combustible liquids is considered. The original methodology of research of a flame extinguishing process, during which was used freon, is presented. Experimental investigations of flame extinguishing process by means of measurement of the extinguishing time and the specific consumption of freon supplied onto the burning liquid surface are conducted. On the basis of experimental data dependences of the extinguishing time and the specific consumption of freon on the flow rate of sprayed stream are presented. As combustible liquids it was used: *n*-heptane, diesel fuel and ethanol which were extinguished by dibromotetrafluoroethane — the 114B2 freon with rather high boiling point (about 60 °C). Experiments were carried out in two modes of dispersion of a liquid chladone stream which were characterized by an average diameter of drops about 80 and 20 μm respectively. It is shown that increase of dispersion degree of a freon stream from 80 to 20 μm led to a sharp increase of fire extinguishing ability which resulted in decrease of the critical intensity in 2 times, and the specific consumption during extinguishing of heptane and diesel fuel flames in 3–4 times. The overall pattern



of extinguishing of diesel fuel, heptane and ethanol, using freon 114B2, which is expressed in presence of extreme dependence of the freon specific consumption on the flow rate of extinguishing compound stream, that is connected with appearance of the contributing factor when oxygen is carried away by the stream of dispersed liquid, is determined.

**Keywords:** reaction inhibitors; extinguishing of combustible liquid flame; extinguishing efficiency of chladone; specific consumption of freon; mechanism of extinguishing process using freon.

## REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
2. *Decisions of the Ninth conference of members of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. — Montreal, 1997. Available at: <http://www.un.org/ru/documents/decl conv> (Accessed 10 August 2015).
3. *Production and Consumption of Ozone Depleting Substances. 1986–1995*. — UNEP, Ozone Secretariat, 1997.
4. Lebedev N. N. *Khimiya i tekhnologiya osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza* [Chemistry and technology of the basic organic and petrochemical synthesis]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 592 p.
5. *NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2012 Edition*. National Fire Protection Association Publ., 2012.
6. Kopylov N. P. (ed.). *Galogensoderzhashchiye pozharotushashchiye agenty: svoystva i primeneniye: sprav. izd.* [Halogen containing fire extinguishing agents: properties and application. Reference book]. Saint Petersburg, TEZA Publ., 1999. 127 p.
7. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing of combustible liquids' flame]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p.
8. 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.
9. Korolchenko D. A. *Izmeneniye kharakteristik gorenii goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vodoy* [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
10. Blinov V. I., Khudiyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Tusheniye plameni ognitushashchimi poroshkami i aerolnymi sostavami* [Extinguishing of a flame by dry chemical powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 63–68.
12. Baratov A. N., Vogman L. P. *Ognitushashchiye poroshkovyye sostavy* [Fire extinguishing powder compounds]. Moscow, Stroyizdat, 1982. 72 p.
13. Kushchuk V. A., Dolgovidov A. V., Polezhaev V. A. *Tusheniye modelnogo ochaga maksimalnogo ranga iz avtomaticheskikh ustanovok poroshkovogo pozharotusheniya (AUP)* [Suppression of the model fire of a maximal rank from automatic dry powder fire extinguishing installation (APEI)]. *Krupnyye pozhary: preduprezhdeniye i tusheniye: mater. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Large-scale fires: prevention and extinguishing. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2001. Part 2, 585 p.
14. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni* [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
15. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. *Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognitushashchimi veshchestvami* [Universality of mechanism of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88.

**For citation:** Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N., Vlasov N. A., Melnikov A. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey khimicheski aktivnym ingibitorom* [Suppression of a flame of combustible liquids by reaction inhibitor]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 11, pp. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.11.70-76.

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСТ Р 22.7.01–99 “ЕДИНАЯ ДЕЖУРНО- ДИСПЕТЧЕРСКАЯ СЛУЖБА”

© **А. А. ТАРАНЦЕВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: t\_54@mail.ru)

© **Д. А. МАЛЫШЕВ**, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

Дан краткий анализ основных положений ГОСТ Р 22.7.01–99 “Единая дежурно-диспетчерская служба”. Показано, что в нем отсутствуют требования к основным характеристикам ЕДДС и рациональному выбору числа автоматизированных рабочих мест диспетчеров и линий связи. Представлен проект приложения к ГОСТ Р 22.7.01–99, в котором приведены методы оценки соответствия характеристик ЕДДС заданным требованиям и выбора числа автоматизированных рабочих мест диспетчеров и линий связи.

**Ключевые слова:** единая дежурно-диспетчерская служба; автоматизированное рабочее место; диспетчер; обработка сообщений абонентов; линии связи.

ГОСТ Р 22.7.01–99 [1] устанавливает структуру, состав задач и порядок функционирования единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) города, района в режимах повседневной деятельности, повышенной готовности и ЧС. Применительно к задачам МЧС, в частности пожарной охраны, в функции ЕДДС входит прием и обработка сообщений, что является одним из важнейших этапов деятельности по обеспечению безопасности людей, тушению пожаров, спасению материальных ценностей [2].

В подразд. А.3.4 приложения А [1] указано, что “типовая проектная документация автоматизированной системы (АС) ЕДДС разрабатывается для каждой группы городов в соответствии с их классификацией...”, а в Москве и Санкт-Петербурге АС ЕДДС “разрабатывается по отдельным техническим заданиям и проектам”.

Тем не менее в ГОСТе [1] отсутствует информация о таких критически важных для обоснования технических заданий и проектов методах, как выбор необходимого числа автоматизированных рабочих мест (АРМ) диспетчеров (рис. 1), линий связи (ЛС) для проектируемой (модернизируемой) ЕДДС; оценка соответствия действующей ЕДДС заданным требованиям, а также отсутствуют сами требования.

В то же время разработке и обоснованию таких методов посвящено достаточно много публикаций [3–6], а в работах [6, 7] приведены основные требования к ЕДДС:

- вероятность потери вызова (отказ в приеме сообщения по причине занятости диспетчеров и ЛС)  $P_{\text{отк}}$  в часы наибольшей нагрузки (ЧНН) не должна превышать допустимой величины, т. е. 0,1 % согласно [8];

- нагрузка на диспетчеров  $\rho$  не должна превышать критического значения — порядка 0,4 [7], при котором в силу утомления диспетчера возникает риск неправильной обработки сообщения абонента;
- среднее время ожидания связи абонента с диспетчером  $t_{\text{ож}}$  не должно превышать допустимой величины — 10 с [7];
- вероятность немедленной связи абонента с диспетчером  $p_n$  не должна быть меньше допустимой величины, например 90 %.

С позиций теории массового обслуживания [9–11] ЕДДС можно представить в виде многоканальной системы с ограниченной очередью [5, 6, 12], куда поступает поток сообщений со средним интервалом  $t_{\text{п}}$ , которые обрабатываются (прием сообщения, уточнение информации, принятие решения, доведение его до исполнителя, при необходимости переадресация сообщения и др.) в течение среднего времени



**Рис. 1.** АРМ диспетчера, принимающего и обрабатывающего сообщения от абонентов

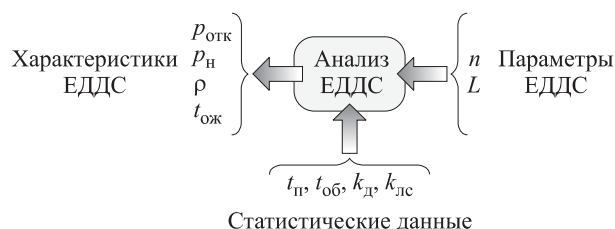


Рис. 2. Схема решения задачи анализа применительно к ЕДДС

$t_{об}$ . При этом следует учитывать коэффициент готовности диспетчера  $k_d$ , т. е. отношение среднего времени нахождения диспетчера на рабочем месте к продолжительности смены ( $k_d \leq 1$ ), и коэффициент аппаратной готовности  $k_{лс}$ , т. е. отношение среднего числа исправных ЛС (АРМ) к их общему числу ( $k_{лс} \leq 1$ ).

Задача оценки соответствия действующей ЕДДС заданным требованиям является задачей *анализа* (рис. 2), т. е. оценки характеристик ЕДДС  $\{p_{отк}, p_n, \rho, t_{ож}\}$ , включающей  $n$  АРМ и  $L$  ЛС, при статистически определенных значениях  $\{t_n, t_{об}, k_d \text{ и } k_{лс}\}$ . Задача выбора необходимого числа АРМ диспетчеров ЛС для проектируемой (модернизируемой) ЕДДС является задачей *синтеза* (рис. 3).

На основе упомянутых разработок можно предложить дополнение к ГОСТу [1] в виде справочного

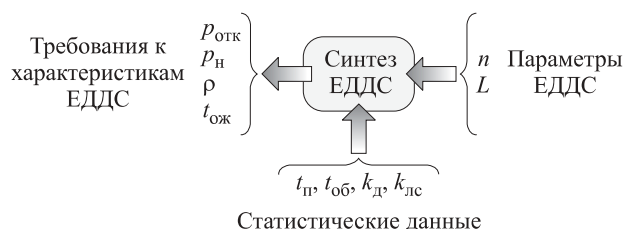


Рис. 3. Схема решения задачи синтеза применительно к ЕДДС

приложения Б “Методы обеспечения требуемого уровня характеристик работы ЕДДС” (его проект приводится далее), которое содержит метод расчетного определения характеристик действующей ЕДДС, рекомендации по их улучшению и метод графического определения числа АРМ и ЛС. Предлагаемое приложение снабжено примерами, иллюстрирующими применение указанных методов, что сделает их понятными и доступными для широкого круга специалистов МЧС.

Таким образом, дополнение ГОСТа [1] данным приложением позволит, с одной стороны, находить объективно минимально необходимое число АРМ (число диспетчеров в дежурной смене для ЧНН) и ЛС, а с другой — оценивать соответствие ЕДДС требованиям, предъявляемым к ее характеристикам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 22.7.01–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Единая дежурно-диспетчерская служба. Основные положения. — Введ. 01.01.2000. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
3. Таранцев А. А. О способе выбора параметров СМО с очередью // Известия РАН. Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 7. — С. 172–176.
4. Топольский Н. Г., Таранцев А. А., Чумаченко А. П. Экспресс-выбор параметров систем массового обслуживания в АСУ пожарной охраны // Пожаровзрывобезопасность. — 2000. — Т. 9, № 1. — С. 7–11.
5. Артамонов В. С., Погорельская К. В., Таранцев А. А. Методика определения рационального числа операторов и линий связи Центра управления силами Федеральной противопожарной службы // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 4–9.
6. Таранцев А. А. Методика определения числа диспетчеров и линий связи дежурно-диспетчерских служб // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 69–85.
7. Шаровар Ф. И. Автоматизированные системы и связь в пожарной охране : учебное пособие. — М. : Радио и связь, 1987.
8. РД 45.120–2000 (НТП 112–2000). Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. — Введ. 26.10.2000. URL: [www.normacs.ru/Doclist/doc/9IF.html](http://www.normacs.ru/Doclist/doc/9IF.html) (дата обращения: 10.06.2015).
9. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М. : Советское радио, 1972.
10. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. — М. : Наука, 1966.
11. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания. — М. : ГИФМЛ, 1963.
12. Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб. : Наука, 2011.

Материал поступил в редакцию 24 июля 2015 г.

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ЕДДС

### Б1. Основные положения

Настоящие методы устанавливают порядок определения основных характеристик ЕДДС (вероятность отказа в приеме сообщения абонента  $p_{\text{отк}}$ ; вероятность немедленного приема сообщения к обслуживанию  $p_n$ ; средняя нагрузка на диспетчера  $\rho$ ; среднее время ожидания абонента связи с диспетчером  $t_{\text{ож}}$ ) и порядок выбора такого количества диспетчеров  $n$  в дежурной смене (или автоматизированных рабочих мест (АРМ) и числа линий связи (ЛС)  $L$ , которые обеспечат требуемые значения характеристик ЕДДС.

В настоящем приложении используются следующие обозначения:

| Обозначение        | Пояснение                                                                       | Физическая размерность |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| $t_n$              | Среднее время между поступлением сообщений                                      | мин                    |
| $t_{\text{об}}$    | Среднее время обработки сообщения диспетчером                                   | мин                    |
| $\alpha$           | Приведенная нагрузка                                                            | —                      |
| $n$                | Число диспетчеров в смене (АРМ)                                                 | —                      |
| $L, \Lambda$       | Оборудованное в ЕДДС и действующее число ЛС                                     | —                      |
| $\rho$             | Нагрузка на диспетчера                                                          | —                      |
| $p_{\text{отк}}$   | Вероятность отказа в приеме сообщения                                           | —                      |
| $m, m_{\text{оч}}$ | Максимально возможная и средняя длина очереди                                   | —                      |
| $p_n$              | Вероятность немедленного приема сообщения диспетчером                           | —                      |
| $p_0$              | Вероятность незанятости диспетчеров и ЛС                                        | —                      |
| $t_{\text{ож}}$    | Время ожидания связи абонента с диспетчером                                     | мин                    |
| $\tau_{\text{ож}}$ | Приведенное время ожидания, средняя очередь; $\tau_{\text{ож}} = m_{\text{оч}}$ | —                      |
| $k_d$              | Коэффициент готовности диспетчера                                               | —                      |
| $k_{\text{лс}}$    | Коэффициент готовности ЛС                                                       | —                      |
| $N$                | Действующее число диспетчеров                                                   | —                      |
| $\Gamma$           | Гамма-функция                                                                   | —                      |
| $S, K_9$           | Вспомогательные переменные                                                      | —                      |
| $A, B$             | Исходная и принятая рабочие точки                                               | —                      |

Используемые в данном приложении аналитические и графические зависимости основываются на общеизвестных положениях теории массового обслуживания\*, в частности на модели многоканальной системы массового обслуживания с ограниченной очередью\*\*.

### Б2. Метод расчетного определения характеристик действующей ЕДДС и рекомендации по их улучшению

**Б2.1.** При использовании настоящего метода статистическим путем определяются:

- среднее время между поступлением сообщений  $t_n$ ;
- среднее время обработки (обслуживания) сообщения диспетчером  $t_{\text{об}}$  (прием сообщения, уточнение информации, принятие решения и доведение его до исполнителя, при необходимости переадресация сообщения и др.);
- коэффициент готовности диспетчера  $k_d$  (отношение среднего времени нахождения диспетчера на рабочем месте к продолжительности смены,  $k_d \leq 1$ );
- коэффициент аппаратной готовности  $k_{\text{лс}}$  (отношение среднего числа исправных ЛС (АРМ) к общему числу,  $k_{\text{лс}} \leq 1$ ).

**Б2.2.** Действующее число диспетчеров  $v$  и действующее число ЛС  $\Lambda$  определяются соответственно из выражений:

$$v = k_d n; \quad (\text{Б2.1})$$

$$\Lambda = k_{\text{лс}} L. \quad (\text{Б2.2})$$

Приведенная нагрузка на ЕДДС  $\alpha$  устанавливается из уравнения

$$\alpha = t_{\text{об}}/t_n. \quad (\text{Б2.3})$$

**Б2.3.** Основные характеристики ЕДДС определяются из выражений:

$$\rho = \alpha/v; \quad (\text{Б2.4})$$

$$p_0 = \left[ S(v) + \frac{\alpha^v \rho (1 - \rho^m)}{\Gamma(v+1)(1-\rho)} \right]^{-1}; \quad (\text{Б2.5})$$

$$p_{\text{отк}} = p_0 \alpha^v \rho^m / [\Gamma(v+1)]; \quad (\text{Б2.6})$$

\* Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972.

\*\* Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: Наука, 2011.



$$p_n = p_0 \frac{S(v) - \alpha^v}{\Gamma(v+1)}; \quad (\text{Б2.7})$$

$$t_{\text{ож}} = t_{\text{п}} p_0 \alpha^v \rho \frac{1 - (m+1)\rho^v + m\rho^{v+1}}{\Gamma(v+1)(1-\rho)^2}, \quad (\text{Б2.8})$$

где  $\Gamma(*)$  — табличное значение гамма-функции;

$$S(v) = \sum_{i=0}^v \frac{\alpha^i}{i!};$$

$m$  — длина очереди;  $m = \Lambda - v$ .

При нецелых значениях  $v$  величина  $S(v)$  находится следующим образом. При определенной по выражению (Б2.3) приведенной нагрузке  $\alpha$  для значений  $n$ , начиная с  $n = 1$  до  $n > v$ , вычисляются  $S(1), \dots, S(n)$ , а величина  $S(v)$  с учетом того, что  $S(0) = 1$ , определяется интерполяцией.

**Б2.4.** Вычисленные по выражениям (Б2.4)–(Б2.8) значения основных характеристик ЕДДС сравниваются с допустимыми (обозначаются индексом “доп”) (например,  $p_{\text{отк.доп}} = 0,001 = 0,1 \text{ \%}$ ;  $\rho_{\text{доп}} = 0,4$ ;  $t_{\text{ож.доп}} = 10 \text{ с}^*$ ;  $p_{\text{н.доп}} = 0,95$ ). После этого делается вывод о соответствии ЕДДС предъявляемым требованиям. При положительном результате в изменении числа АРМ и ЛС нет необходимости. При отрицательном результате необходимо увеличить значение  $L$  и/или  $n$  на 1, после чего провести вычисления по выражениям (Б2.1), (Б2.2), (Б2.4)–(Б2.8) и повторить сравнение полученных значений характеристик ЕДДС с допустимыми.

### Б3. Метод графического определения числа АРМ и ЛС

**Б3.1.** В соответствии с п. Б.2.1 устанавливаются значения  $t_{\text{п}}$ ,  $t_{\text{об}}$ ,  $k_{\text{д}}$ ,  $k_{\text{лс}}$ . По выражению (Б2.3) определяется  $\alpha$ . Задаются допустимые значения характеристик ЕДДС —  $\rho_{\text{доп}}$  и  $p_{\text{н.доп}}$ . Вычисляется величина  $K_9$  (число девяток после запятой):

$$K_9 = -\lg(1 - p_{\text{н.доп}}). \quad (\text{Б2.9})$$

**Б3.2.** По графику на рис. Б1 определяется рабочая область — правый верхний квадрант, ограниченный линиями  $\alpha$ ,  $K_9$  и  $\rho_{\text{доп}}$ . В этой области выбирается рабочая точка на пересечении линий с наименьшими значениями  $n$  и  $L$ . По выражениям (Б2.1) и (Б2.2) определяются значения  $v$  и  $\Lambda$ .

**Б3.3.** Проводится проверка выполнения условий:  $p_{\text{отк}} < p_{\text{отк.доп}}$ ,  $\rho < \rho_{\text{доп}}$ ,  $p_{\text{н}} < p_{\text{н.доп}}$ ,  $t_{\text{ож}} < t_{\text{ож.доп}}$ . Согласно п. Б2.3 по значениям  $\alpha$ ,  $v$  и  $\Lambda$  определяют характеристики ЕДДС, по п. Б2.4 оценивают их соответствие допустимым значениям.

\* РД 45.120–2000 (НТП 112–2000). Городские и сельские телефонные сети. Нормы технологического проектирования.

\*\* Шаровар Ф. И. Автоматизированные системы и связь в пожарной охране. — М.: Радио и связь, 1987.

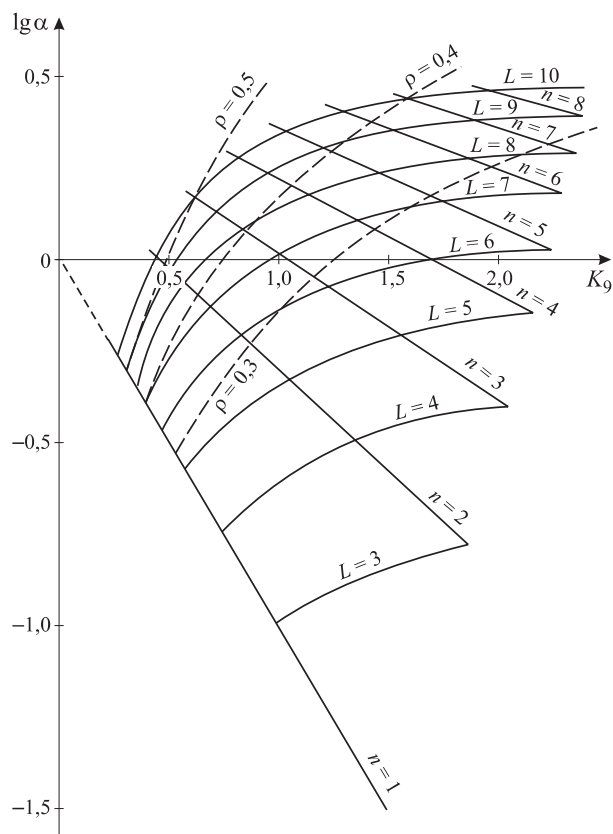


Рис. Б1. Номограмма для определения числа АРМ  $n$  и ЛС  $L$  при  $p_{\text{отк}} = 0,1 \text{ \%}$

### Б4. Примеры расчета

**Б4.1.** Пусть создается (модернизируется) ЕДДС. На основании статистических данных ожидается, что в часы наибольшей нагрузки среднее время между поступлением сообщений в ЕДДС  $t_{\text{п}} \approx 1,58$  мин, а среднее время обработки сообщения диспетчером  $t_{\text{об}} \approx 1,1$  мин. Требуется определить необходимое число АРМ  $n$  и ЛС  $L$  при  $p_{\text{отк.доп}} = 0,001$ ;  $\rho_{\text{доп}} = 0,4$  и  $p_{\text{н.доп}} = 0,9$ .

По выражению (Б2.3) находим приведенную нагрузку на ЕДДС:  $\alpha = 1,1/1,58 \approx 0,7$ . Используя номограмму на рис. Б1 с учетом, что  $\lg 0,7 \approx -0,155$  и  $K_9 = 1$  согласно (Б2.9), получаем исходную рабочую точку  $A$  и рабочую область (рис. Б2). По рис. Б2 находим рабочую точку  $B$  с координатами  $n = 3$  и  $L = 6$ . Таким образом, для данной ЕДДС необходимое число АРМ составит 3, число ЛС — 6.

В соответствии с п. Б2.3 проведем проверку:  $v = n = 3$ ;  $m = 6 - 3 = 3$ ;  $\rho = 0,7/3 \approx 0,233 < \rho_{\text{доп}}$ ;  $S(3) = 1 + 0,7 + 0,7^2/2 + 0,7^3/6 \approx 2,0$ ;  $p_0 = \{2,0 + 0,7^3 \cdot 0,233 [3!(1 - 0,233)]^{-1}\}^{-1} \approx 0,488$ ;  $p_{\text{отк}} = 0,488 \cdot 0,7^3 \cdot 0,233^3/3! \approx 0,328 \cdot 10^{-3} < p_{\text{отк.доп}}$ ;  $p_{\text{н}} = 0,488(2,0 - 0,7^3/3!) \approx 0,949 > p_{\text{н.доп}}$ ;  $t_{\text{ож}} = 1,58 \cdot 0,488 \cdot 0,7^3 \cdot 0,233(1 - 4 \cdot 0,233^3 + 3 \cdot 0,233^4) \times [3!(1 - 0,233)^2]^{-1} \approx 0,0168 \text{ мин} = 1,005 \text{ с} < t_{\text{ож.доп}}$ .

Таким образом, ЕДДС с тремя АРМ и шестью ЛС будет удовлетворять предъявляемым требованиям.

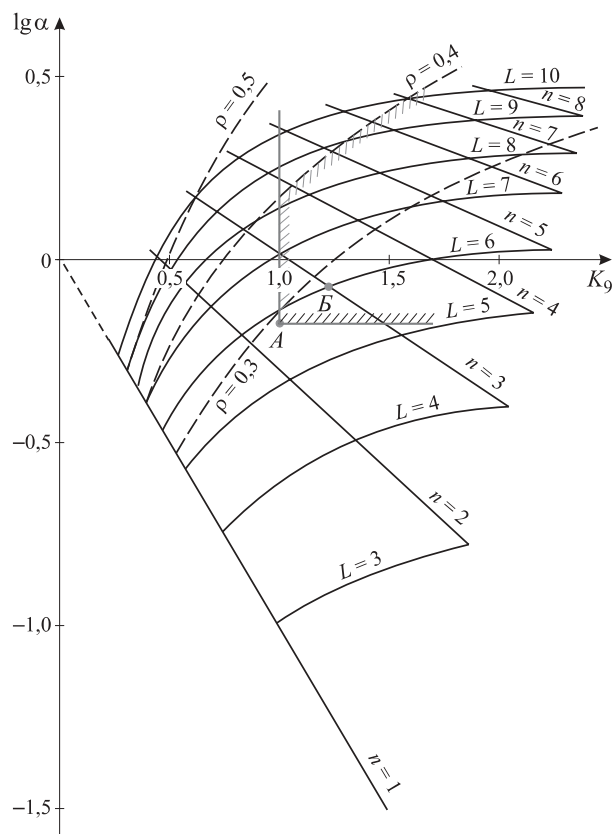


Рис. Б2. К примеру применения номограммы для определения числа АРМ и ЛС при  $p_{\text{отк}} = 0,1 \%$

**Б4.2.** Пусть существует ЕДДС с тремя АРМ ( $n=3$ ) и шестью ЛС ( $L=6$ ), в которую в часы наибольшей нагрузки поступает поток сообщений в среднем через каждые 1,58 мин, а каждое сообщение обрабатывается диспетчером в среднем за 1,1 мин. Известно также, что  $k_d = 0,8$  и  $k_{\text{лс}} = 0,95$ . Требуется оценить, удовлетворяет ли данная ЕДДС следующим требованиям:  $p_{\text{отк.доп}} = 0,001$ ;  $\rho_{\text{доп}} = 0,4$ ;  $t_{\text{ож.доп}} = 10$  с;  $p_{\text{н.доп}} = 0,9$ .

Согласно (Б2.1) и (Б2.2) получаем:  $v = 0,8 \cdot 3 = 2,4$ ;  $\Lambda = 0,95 \cdot 6 = 5,7$ ;  $m = 5,7 - 2,4 = 3,3$ ;  $\Gamma(3,4) \approx 2,8$ ;  $\alpha = 0,7$ , как в предыдущем примере. В соответствии с п. Б2.3 получаем:  $\rho = 0,7/2,4 = 0,292 < \rho_{\text{доп}}$ . Величину  $S$  находим следующим образом: вычисляем

$S(1) = 1,7$ ;  $S(2) = 1,945$ ;  $S(3) = 2,0$ ; затем интерполяцией получаем  $S(2,4) \approx 1,983$ . По выражениям (Б2.4)–(Б2.8) получаем:  $p_0 = \{1,983 + 0,7^{2,4} \cdot 0,292(1 - 0,292^{3,3})\} \times [2,8(1 - 0,292)]^{-1} \approx 0,489$ ;  $p_{\text{отк}} = 0,489 \cdot 0,7^{2,4} \times 0,292^{3,3}/2,8 \approx 1,28 \cdot 10^{-3} > p_{\text{отк.доп}}$ ;  $p_{\text{н}} = 0,489(1,983 - 0,7^{2,4}/2,8) \approx 0,895 < p_{\text{н.доп}}$ ;  $t_{\text{ож}} = 1,58 \cdot 0,489 \cdot 0,7^{2,4} \times 0,292(1 - 4,3 \cdot 0,292^{2,4} + 3,3 \cdot 0,292^{3,4})[2,8(1 - 0,292)^2]^{-1} \approx 0,0564$  мин  $= 3,385$  с  $< t_{\text{ож.доп}}$ .

Таким образом, ЕДДС не удовлетворяет требованиям по вероятности отказа в приеме сообщения и по немедленному приему сообщения диспетчером.

**Б4.3.** При исходных данных, как в предыдущем примере, для совершенствования ЕДДС принято решение увеличить на единицу число ЛС, т. е.  $L = 7$ . Тогда:  $v = 2,4$ ;  $\Lambda = 0,95 \cdot 7 = 6,65$ ;  $m = 6,65 - 2,4 = 4,25$ ;  $\Gamma(3,4) \approx 2,8$ ;  $\alpha = 0,7$ ;  $\rho = 0,292 < \rho_{\text{доп}}$ ;  $S(2,4) \approx 1,983$ .

По выражениям (Б2.4)–(Б2.8) получаем:  $p_0 = \{1,983 + 0,7^{2,4} \cdot 0,292(1 - 0,292^{4,25})[2,8(1 - 0,292)]^{-1}\} \approx 0,489$ ;  $p_{\text{отк}} = 0,489 \cdot 0,7^{2,4} \cdot 0,292^{4,25}/2,8 \approx 0,307 \cdot 10^{-3} < p_{\text{отк.доп}}$ ;  $p_{\text{н}} = 0,489(1,983 - 0,7^{2,4}/2,8) \approx 0,895 < p_{\text{н.доп}}$ ;  $t_{\text{ож}} = 1,58 \cdot 0,489 \cdot 0,7^{2,4} \cdot 0,292(1 - 5,25 \cdot 0,292^{2,4} + 4,25 \cdot 0,292^{3,4})[2,8(1 - 0,292)^2]^{-1} \approx 0,054$  мин  $= 3,242$  с  $< t_{\text{ож.доп}}$ .

Таким образом, ЕДДС не удовлетворяет требованиям по вероятности немедленного приема сообщения диспетчером.

**Б4.4.** При исходных данных, как в п. Б4.2, для совершенствования ЕДДС принято решение увеличить на единицу число АРМ, т. е.  $n=4$ . Тогда:  $v = 3,2$ ;  $L = 6$ ;  $\Lambda = 5,7$ ;  $m = 5,7 - 3,2 = 2,5$ ;  $\Gamma(4,2) \approx 8,0$ ;  $\alpha = 0,7$ ;  $\rho = 0,7/3,2 \approx 0,219 < \rho_{\text{доп}}$ ;  $S(3,2) \approx 2,005$ .

По выражениям (Б2.4)–(Б2.8) получаем:  $p_0 = \{2,005 + 0,7^{3,2} \cdot 0,219(1 - 0,219^{2,5})[8,0(1 - 0,219)]^{-1}\} \approx 0,496$ ;  $p_{\text{отк}} = 0,496 \cdot 0,7^{3,2} \cdot 0,219^{2,5}/8,0 \approx 0,444 \cdot 10^{-3} < p_{\text{отк.доп}}$ ;  $p_{\text{н}} = 0,496(2,005 - 0,7^{3,2}/8,0) \approx 0,975 > p_{\text{н.доп}}$ ;  $t_{\text{ож}} = 1,58 \cdot 0,496 \cdot 0,7^{3,2} \cdot 0,219(1 - 3,5 \cdot 0,219^{3,2} + 2,5 \cdot 0,219^{4,2})[8,0(1 - 0,219)^2]^{-1} \approx 0,011$  мин  $= 0,657$  с  $< t_{\text{ож.доп}}$ .

Таким образом, ЕДДС удовлетворяет предъявляемым требованиям.

**ВОПРОС:**

В ст. 21 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федер. закон № 123 (далее — ФЗ 123)) указано, что взрывоопасное электрооборудование по степени пожаровзрывоопасности и пожарной опасности подразделяется на оборудование без средств пожаровзрывозащиты, пожарозащищенное и взрывозащищенное. Для взрывозащищенного электрооборудования существует ряд национальных и международных стандартов, регламентирующих выбор и порядок его применения. Для пожарозащищенного электрооборудования такие стандарты отсутствуют. При этом известно, что в пожароопасных зонах оборудование должно быть выполнено в защитной оболочке с кодом IP (*International Protection*).

Какими нормативными документами следует руководствоваться при выборе пожарозащищенного оборудования для пожароопасных зон?

**ОТВЕТ:**

Термин “пожарозащищенное электрооборудование” был впервые введен в ФЗ 123 [1] и не имеет аналогов в зарубежных нормативных документах. Точного определения данного понятия не существует. Тем не менее пожарозащищенное электрооборудование следует рассматривать как оборудование, ограничивающее распространение горения за его пределы, что обеспечивается применением оболочек, выполненных из материалов, стойких к воздействию внутренних, характерных для изделия при аварийных режимах работы источников зажигания и имеющих необходимую степень защиты (код IP) в соответствии с условиями применения [2]. По сути дела, пожарозащищенное электрооборудование — это IP-оборудование с оболочкой (например, металлической или из негорючего пластика), к материалу которой предъявляются более жесткие требования, нежели к оборудованию с кодом IP, выбор которого осуществляется согласно ГОСТ 14254–96 [3].

Важно отметить, что оборудование с кодом IP разрабатывалось исключительно для ограничения доступа людей к опасным механическим и токоведущим частям, а также для защиты оборудования от попадания в него твердых предметов и воды. По своему назначению IP-оборудование значительно отличается от пожарозащищенного, так как его основная функция при работе в пожароопасных зонах (по аналогии со взрывозащищенным оборудованием) состоит в исключении возможности появления источников зажигания электрического характера, а также чрезмерного нагрева корпуса оборудования, что может привести к

воспламенению горючей смеси. Кроме того, в случае возникновения воспламенения внутри корпуса пожарозащищенного оборудования должна быть исключена возможность выхода горения наружу. С этой целью необходимо использовать различные уплотнения между частями оболочки электроустановок и более надежные негорючие материалы для самой оболочки.

Из вышесказанного следует, что для пожарозащищенного электрооборудования необходима разработка отдельных стандартов, описывающих его порядок разработки, изготовления и применения.

В ФЗ 123 [1] классификация пожароопасных зон претерпела незначительные изменения по сравнению с классификацией, указанной в гл. 7.4 ПУЭ 6-го изд. [4], поэтому ПУЭ можно рассматривать как документ, регламентирующий выбор оборудования для пожароопасных зон.

Кроме того, в 2009 г. Ассоциация “Росэлектромонтаж” совместно с ФГУ ВНИИПО разработала Инструкцию по монтажу электрооборудования в пожароопасных зонах [5]. В этом документе подробно изложен порядок проектирования и монтажа электроустановок, который сформировался благодаря многолетнему опыту проектирования, монтажа и научных исследований в области обеспечения пожарной безопасности электроустановок.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 23.06.2014) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Смелков Г. И. Электропроводки и кабельные линии в пожароопасных зонах // Кабель-news. — 2011. — № 1. — С. 66–74.
3. ГОСТ 14254–96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). — Введ. 01.01.1997. — М. : Стандартинформ, 1997.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 6-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1986.
5. Инструкция по монтажу электрооборудования в пожароопасных зонах № И 1.02-09. — М. : Асс. “Росэлектромонтаж”, 2009. — 76 с.

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

**УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!**

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

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

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

*Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.*

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

**2.** Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

**2.1.** Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

**2.2.** Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме 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 4–5 предложений).

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

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

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

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

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

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

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

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

В 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. 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.** Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

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

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения 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.disserscat.com>.

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

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

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

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства ([www.fire-smi.ru](http://www.fire-smi.ru)).

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

**3.** К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

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

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

ISSN 0869-7493

Открыта  
подписка  
на журнал

# 2016

## 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)