

6-2016

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**

# БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ПОЖАРНАЯ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ





СТРОЙ  
ЭКСПО  
КРЫМ

# VI СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

## 20–22 ОКТЯБРЯ

- Строительство и проектирование
- Строительные материалы и оборудование
- Фасады, кровля и изоляция
- Двери, окна, автоматика
- Климатические технологии
- Интерьер, декор, свет
- Альтернативные источники энергии

Мы в соцсетях:



#ЭКСПОКРЫМ



Официальная  
поддержка:



МИНПРОТОРГ  
Российской Федерации

РЕКЛАМА



Организатор выставки:

м/т.: +7(978) 900 90 90  
info@expocrimea.com  
www.expocrimea.com

Место проведения:

РФ, Республика Крым,  
г.Ялта, ул. Драйзинского 50,  
ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

Выставка технических средств охраны  
и оборудования для обеспечения  
безопасности и противопожарной защиты



**securika**  
Siberia



Новосибирск

28–30  
сентября  
2016

МВК «Новосибирск Экспоцентр»

Забронируйте стенд  
**securika-siberia.ru**

РЕКЛАМА



Системы  
и технические  
средства  
видеонаблюдения



Системы  
и средства  
ограничения  
доступа



Системы  
защиты  
периметра



Системы и средства  
обеспечения  
пожарной  
безопасности



Технические  
средства  
обеспечения  
безопасности



Организатор  
ITE Сибирь  
+7 (383) 363 00 63  
security@sibfair.ru

Генеральный  
информационный  
партнер



Стратегический  
информационный  
партнер



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

## FIRE MODELING

ПУЗАЧ С. В., НГУЕН ДАТ ТАТ  
Критическое значение концентрации  
монооксида углерода при пожаре в помещении

5

PUZACH S. V., NGUYEN DAT TAT  
Critical value of the concentration  
of carbon monoxide at a fire in the room

## ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

## FIRE HAZARD OF ELECTROTECHNICAL PRODUCTS

АЛЕШКОВ М. В., ЕМЕЛЬЯНОВ Р. А.,  
КОЛБАСИН А. А., ФЕДЯЕВ В. Д.  
Условия применения современных технологий  
пожаротушения для ликвидации пожаров  
электрооборудования под напряжением

12

ALESHKOV M. V., EMEL'YANOV R. A.,  
KOLBASIN A. A., FEDYAEV V. D.  
Terms of the use of modern fire extinguishing  
technologies for fire liquidation on energized  
electrical equipment

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

## FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ИСАЕВА Л. К., НИКИТИНА Г. С., СУЛИМЕНКО В. А.  
Пожарная и экологическая безопасность жилых зданий

19

ISAEVA L. K., NIKITINA G. S., SULIMENKO V. A.  
Fire and ecological safety of residential buildings

БАКИРОВ И. К., БЕЛОУСОВА А. А.  
О совершенствовании противопожарной защиты  
территории населенного пункта  
в Республике Башкортостан

27

BAKIROV I. K., BELOUSOVA A. A.  
About improvement of fire-prevention protection  
of the territory of the settlement  
in the Republic of Bashkortostan

## СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

## STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., СОКОЛОВ С. В., ГРИГОРЬЕВА М. П.  
О некоторых закономерностях и особенностях  
русской пожарной статистики

33

BRUSHLINSKIY N. N., SOKOLOV S. V., GRIGORYEVA M. P.  
Some regularities and peculiarities  
of the Russian fire statistics

## ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

## FIRE ENGINEERING

ПОЛЯКОВ А. С., КРЫЛОВ Д. А., СЫТДЫКОВ М. Р.  
Информационно-статистический анализ  
особенностей развития мобильных средств  
порошкового пожаротушения

39

POLYAKOV A. S., KRYLOV D. A., SYTDYKOV M. R.  
Information and statistical analysis  
of development of fire vehicles with dry  
chemical extinguishing installations

КАЛАЧ А. В., ШАРАПОВ С. В., ГУСАКОВ А. Н.  
Исследование статистики применения  
пожарной техники для тушения пожаров

48

KALACH A. V., SHARAPOV S. V., GUSAKOV A. N.  
Study of statistics fire equipment  
for fire extinguishing

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ВОЙТКОВ И. С., ВОЛКОВ Р. С.,  
ВЫСОКОМОРНАЯ О. В., ЖДАНОВА А. О.  
Экспериментальное исследование процессов тушения  
модельных очагов пожара распределенными во времени  
и пространстве капельными потоками воды

56

VOYTKOV I. S., VOLKOV R. S.,  
VYSOKOMORNAYA O. V., ZHDANOVA A. O.  
Experimental study of model fire seats  
extinguishing by the distributed in time  
and space water droplet flows

ТАРАНЦЕВ А. А., ПИВОВАРОВ Н. Ю.  
Анализ водоотдачи кольцевой сети  
наружного противопожарного водопровода  
с учетом повреждений трубопроводов

66

TARANTSEV A. A., PIVOVAROV N. Yu.  
Analysis of the yield of ring networks  
of outdoor fire water supply system  
with consideration of pipeline damage

## ВОПРОС – ОТВЕТ

79

## QUESTION – ANSWER

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

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

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Переводные версии статей журнала входят в Международный реферативный журнал "Chemical Abstracts".

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



Ликвидация пожаров электрооборудования



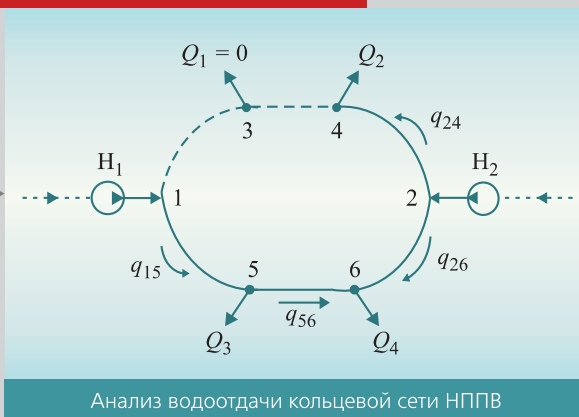
Пожарная и экологическая безопасность жилых зданий



Особенности российской пожарной статистики



Статистика применения пожарной техники



Анализ водоотдачи кольцевой сети НППВ

**Председатель Редакционного совета:**

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

**Зам. председателя Редакционного совета:**

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

**Редакционный совет:**

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

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

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

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

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

**Ройтман В. М.**, д. т. н., профессор, академик НАНПБ  
и ВАНКБ, член-корреспондент Академии архитектурного  
наследия (Россия)

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

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

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

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

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

**Шилдс Т. Дж.**, профессор (Великобритания)

**Редакция:**

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

**Учредитель —  
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

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

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

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

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

Подписано в печать 15.06.2016. Выход в свет 24.06.2016.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

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

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

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

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

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

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

Signed for printing 15.06.2016

Date of publication 24.06.2016

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

**Chairman of Editorial Board:**

**Korolchenko A. Ya.,**

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

**Deputy Chairman of Editorial Board:**

**Molkov V. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

**Editorial Board:**

**Barbin N. M.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Brushlinskiy N. N.,**

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

**Korolchenko D. A.,**

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

**Mishuev A. V.,**

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

**Puzach S. V.,**

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

**Roytman V. M.,**

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

**Serkov B. B.,**

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

**Tamrazyan A. G.,**

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

**Topolskiy N. G.,**

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

**Kholshchevnikov V. V.,**

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

**Shebeko Yu. N.,**

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

**Shields T. J.,**

Professor (Great Britain)

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

**НГУЕН ДАТ ТАТ**, адъюнкт кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: nguyentatdat1308@gmail.com)

УДК 614.841

## КРИТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МОНОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Рассмотрены особенности поражения организма человека монооксидом углерода СО. Разработана математическая модель расчета содержания карбоксигемоглобина в крови человека при воздействии на него СО. Проведено сопоставление расчетного содержания карбоксигемоглобина с экспериментальными данными, полученными при воздействии на человека постоянной концентрации СО при спокойном дыхании. Представлены результаты численного эксперимента по определению концентрации карбоксигемоглобина при повышенной скорости легочной вентиляции, характерной для условий пожара в помещении. Показано, что критическая концентрация монооксида углерода, принятая в нормативной и научной литературе по пожарной безопасности, при определенных условиях может сделать невозможной безопасную эвакуацию людей.

**Ключевые слова:** пожар; монооксид углерода; критическое значение; карбоксигемоглобин; интоксикация человека.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.5-11

### Введение

По статистике более чем в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах является отравление продуктами горения [1], поэтому математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре представляет собой актуальную задачу [2, 3].

В настоящее время математические модели расчета динамики опасных факторов пожара (ОФП) (в том числе концентраций токсичных продуктов горения) в помещении получили достаточное развитие для использования их при решении практических задач пожарной безопасности, в частности при расчете пожарных рисков (например, [3, 4]).

Большое количество работ посвящено исследованию токсикологической опасности воздействия СО на человека на пожарах [5–10].

Время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара определяется из условия достижения критического значения рассматриваемого фактора (например, концентрации токсичного газа). Для монооксида углерода критическая концентрация  $\rho_{\text{СО кр}}$  принята равной  $1,16 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> [4, 11].

В работе [12] на основании анализа экспериментальных данных по воздействию СО на человека сделан вывод о том, что непрерывное воздействие монооксида углерода вышеуказанной концентрации безопасно для человека в течение 25 мин. Этот вы-

вод, на первый взгляд, подтверждает обоснованность принятой величины  $\rho_{\text{СО кр}}$ .

Однако экспериментальные исследования влияния СО на человека, как правило, проводились в условиях отсутствия воздействия других ОФП [13–15], поэтому дыхание человека было спокойным, с объемной скоростью легочной вентиляции порядка 5–9 л/мин [13]. В то же время при наличии хотя бы еще одного из факторов, воздействующих на нейроны дыхательного центра человека (повышенной концентрации углекислого газа, пониженной концентрации кислорода и интенсивной работы), глубина и частота дыхания существенно изменяются [13]. В этом случае объемная скорость легочной вентиляции может достигать 100–150 л/мин [13], что приводит, соответственно, к увеличению поглощения СО организмом человека.

В настоящей работе выполнена оценка влияния концентрации и времени экспозиции (продолжительности действия на организм человека) СО при повышенной скорости легочной вентиляции на степень интоксикации организма человека.

### Некоторые особенности поражения организма человека монооксидом углерода

Токсическое действие СО на организм человека основано на взаимодействии его с гемоглобином кро-

**Таблица 1.** Зависимость состояния человека от процентного содержания карбоксигемоглобина в крови [16]

| HbCO, % | Симптоматика                                                                                                                                  |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0–2     | Нормальный уровень среди некурящих                                                                                                            |
| 5–6     | Нормальный уровень для курильщиков. Возможно нарушение навыков вождения автомобиля и снижение толерантности к физической нагрузке у некурящих |
| 10–20   | Головная боль, слабость                                                                                                                       |
| 20–30   | Сильная головная боль, тошнота, рвота, головокружение, нарушение зрения                                                                       |
| 30–40   | Тошнота, рвота, обморок, тахикардия и тахипноэ, неврологическая симптоматика                                                                  |
| 40–50   | Кома, судороги, нарушения дыхания и сердечно-сосудистой деятельности                                                                          |
| 50–60   | Кома, судороги, глубокое угнетение дыхания и сердечной деятельности                                                                           |
| 60–70   | Кома, судороги, артериальная гипотензия, брадикардия, угнетение дыхания                                                                       |
| >70     | Дыхательная недостаточность, смерть                                                                                                           |

ви и образовании вследствие этого карбоксигемоглобина (HbCO), который не способен переносить кислород [16].

Одна молекула гемоглобина способна присоединить четыре молекулы  $O_2$  или CO [15]. Образующаяся молекула карбоксигемоглобина даже при одной присоединенной молекуле CO увеличивает сродство к кислороду остальных трех участков его связывания, в результате чего кислород с большим трудом отдается тканям [17].

Степень поражения организма человека монооксидом углерода определяется содержанием карбоксигемоглобина в крови (табл. 1) [16]. В соответствии с работой [16] отравление считается легкой степени тяжести, если содержание карбоксигемоглобина в крови не превышает 20 %, средней степени — до 50 %, тяжелой степени — до 60–70 %. При содержании карбоксигемоглобина более 70 % наступает быстрая смерть.

Газообмен между воздухом внешней среды и кровью человека на его заключительном этапе состоит в поступлении воздуха в альвеолы легких и последующей диффузии газов через альвеолярно-капиллярную мембрану в кровь [13].

### Математическая модель расчета содержания карбоксигемоглобина в крови

Рассмотрим внешнее дыхание человека, состоящее в обмене воздуха между внешней средой и альвеолами легких и в диффузии газов в легких (обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью через альвеолярно-капиллярную мембрану) [17].

Воздух, находящийся в воздухоносных путях (полость рта, носа, глотка, трахея, бронхи и бронхиолы), не участвует в газообмене [17], поэтому только часть объема воздуха, поступающего в организм человека, передает в кровь монооксид углерода.

Принимаем следующие допущения условий процесса поступления монооксида углерода в кровь человека:

- вся масса монооксида углерода, поступающего в альвеолы легких, диффундирует через альвеолярно-капиллярную мембрану в кровь при количестве CO, меньшем диффузионной способности легких [13];
- диффузионная способность легких по CO  $D_{л.CO}$  (мл/(мм рт. ст. · мин)) (т. е. количество монооксида углерода, проходящего через альвеолярно-капиллярную мембрану за 1 мин из расчета на 1 мм рт. ст. разницы парциального давления газа по обе стороны мембраны [13]) определяет максимально возможное количество монооксида углерода, попадающего в кровь за минуту;
- вся масса CO, проходящего через альвеолярно-капиллярную мембрану и попадающего в кровь, участвует в образовании карбоксигемоглобина, так как из-за высокой аффинности гемоглобина к CO даже очень низкие парциальные давления CO приводят к связыванию значительного количества гемоглобина с CO с образованием HbCO [13];
- парциальное давление CO в крови после перехода его через альвеолярно-капиллярную мембрану пренебрежимо мало по сравнению с парциальным давлением CO в альвеолах перед альвеолярно-капиллярной мембраной [13].

Содержание карбоксигемоглобина в крови определяется как

$$\bar{M}_{HbCO} = M_{HbCO} / M_{Hb}, \quad (1)$$

где  $\bar{M}_{HbCO}$  — массовая доля гемоглобина, перешедшего в карбоксигемоглобин;

$M_{HbCO}$  — масса карбоксигемоглобина, г;

$M_{Hb}$  — масса гемоглобина, г.

Масса гемоглобина в крови человека составляет [17]:

$$M_{Hb} = M_{Hb.o} V_k, \quad (2)$$

где  $M_{Hb.o}$  — удельная масса гемоглобина, г/л;

$V_k$  — объем крови в организме человека, л.

Принимаем концентрацию CO в окружающем воздухе постоянной по времени. Тогда масса монооксида углерода, участвующего в образовании карбоксигемоглобина за время экспозиции,  $M_{CO}$  (г) составит:

- при  $W < W_{max}$ :

$$M_{CO} = k_W \rho_{CO} W \tau_3; \quad (3)$$

- при  $W \geq W_{\max}$ :

$$M_{\text{CO}} = k_W \rho_{\text{CO}} W_{\max} \tau_{\text{э}}, \quad (4)$$

где  $W$  — объемная скорость вентиляции легких, л/мин;

$W_{\max}$  — объемная скорость вентиляции легких, соответствующая диффузионной способности легких по СО, л/мин;  $W_{\max} = k_{\text{п}} D_{\text{л.СО}} / k_W$ ;

$k_{\text{п}}$  — размерный коэффициент перевода размерностей физических параметров, мм рт. ст./Па;

$k_W$  — коэффициент, равный отношению объемного расхода воздуха, поступающего в альвеолы легких, к объемной скорости вентиляции легких;

$\rho_{\text{CO}}$  — плотность СО в воздухе, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{э}}$  — время экспозиции, мин.

Масса карбоксигемоглобина, образующегося в крови за время экспозиции, составляет:

$$M_{\text{HbCO}} = M_{\text{CO}} \left( \frac{\mu_{\text{Hb}}}{n \mu_{\text{CO}}} + 1 \right), \quad (5)$$

где  $\mu_{\text{Hb}}$  — молярная масса гемоглобина, кг/кмоль;  
 $n$  — число молекул СО в одной молекуле карбоксигемоглобина;

$\mu_{\text{CO}}$  — молярная масса СО, кг/кмоль.

Окончательно выражение для массовой доли карбоксигемоглобина в крови после объединения формул (1)–(5) примет вид:

$$\bar{M}_{\text{HbCO}} = \frac{k_W \rho_{\text{CO}} W \tau_{\text{э}}}{M_{\text{Hb}}} \left( \frac{\mu_{\text{Hb}}}{n \mu_{\text{CO}}} + 1 \right). \quad (6)$$

В уравнении (6) при  $W \geq W_{\max}$  примем  $W = W_{\max}$ .

Объемная скорость вентиляции легких при спокойном дыхании [17]:

$$W = f(V_{\text{д}} - V_{\text{м}}), \quad (7)$$

где  $f$  — частота дыхания, мин<sup>-1</sup>;

$V_{\text{д}}$  — дыхательный объем, л;

$V_{\text{м}}$  — объем “мертвого” пространства, л.

### Исходные данные

При спокойном дыхании, когда нет дополнительных воздействий на дыхательный центр, принимаем для взрослого человека весом 75 кг [17]:  $f = 15$  мин<sup>-1</sup>;  $V_{\text{д}} = 0,5$  л;  $V_{\text{м}} = 0,15$  л.

Тогда из формулы (7) при спокойном дыхании получаем  $W = 5,25$  л/мин.

Принимаем в формуле (3)  $k_W = (V_{\text{д}} - V_{\text{м}}) / V_{\text{д}} = 0,7$ .

Диффузионная способность легких по СО составляет [13]:

- при спокойном дыхании:  
 $D_{\text{л.СО}} = 20$  мл/(мм рт. ст. · мин);
- при физической нагрузке:  
 $D_{\text{л.СО}} = 60$  мл/(мм рт. ст. · мин).

Удельная масса гемоглобина в крови изменяется от 120 до 160 г/л у мужчин и от 110 до 140 г/л у женщин [17].

Принимаем, что  $(M_{\text{Hb.o}})_{\text{ср}} = 135$  г/л и  $(M_{\text{Hb.o}})_{\text{min}} = 110$  г/л, где  $(M_{\text{Hb.o}})_{\text{ср}}$ ,  $(M_{\text{Hb.o}})_{\text{min}}$  — соответственно средняя и минимальная удельная масса гемоглобина в организме взрослого человека, г/л.

Объем крови взрослого человека изменяется от 4,5 до 6 л [17]. Выбираем среднее значение:  $V_{\text{к}} = 5,25$  л. Тогда средняя масса гемоглобина в крови человека по формуле (2) составит  $(M_{\text{Hb}})_{\text{ср}} = 708,75$  г.

При минимальном объеме крови  $V_{\text{к}} = 4,5$  л и  $(M_{\text{Hb.o}})_{\text{min}} = 110$  г/л минимальная масса гемоглобина в крови человека в соответствии с формулой (2)  $(M_{\text{Hb}})_{\text{min}} = 495$  г.

Молярные массы:  $\mu_{\text{Hb}} = 68800$  кг/кмоль [17];  $\mu_{\text{CO}} = 28$  кг/кмоль.

По формуле (6) определяем массовую долю карбоксигемоглобина в крови в зависимости от степени тяжести отравления [1]: легкой —  $\bar{M}_{\text{HbCO}} = 0,2$ ; средней —  $\bar{M}_{\text{HbCO}} = 0,5$ .

Принимаем, что критическое значение массовой доли карбоксигемоглобина в крови, при которой еще возможна безопасная эвакуация людей,  $(\bar{M}_{\text{HbCO}})_{\text{кр}} = 0,2$ .

Атмосферное давление  $p_{\text{а}} = 1,013 \cdot 10^5$  Па, температура воздуха  $T_{\text{в}} = 20$  °С.

### Результаты численных и натурных экспериментов и их анализ

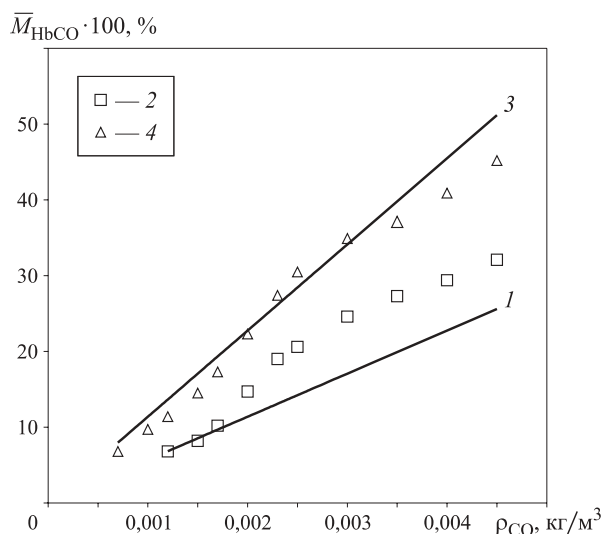
Сопоставление расчетного количества карбоксигемоглобина в крови с экспериментальными данными является оценочным, так как в публикациях, содержащих результаты экспериментов по воздействию СО на людей, нет точных данных по возрасту, весу, полу и другим характеристикам участников экспериментов.

Результаты сопоставления расчетного процентного содержания карбоксигемоглобина с экспериментальными значениями [12], полученными при воздействии СО на людей при спокойном дыхании, при  $\tau_{\text{э}} = 5$  мин и  $\tau_{\text{э}} = 10$  мин представлены на рис. 1. В расчетах принималась средняя масса гемоглобина в организме взрослого человека и  $n = 1$ .

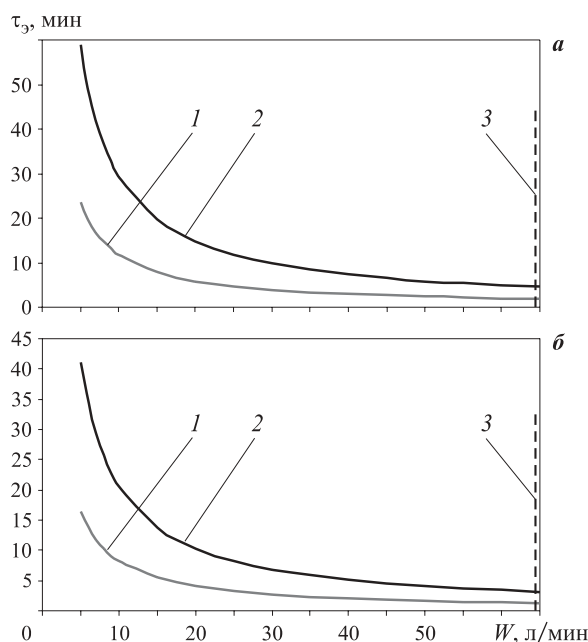
Анализ рис. 1 показывает, что расчетные значения  $\bar{M}_{\text{HbCO}}$  совпадают с экспериментальными с погрешностью, не превышающей 27 %.

Исследуем влияние повышенной скорости легочной вентиляции на степень интоксикации организма человека.

Рассмотрим две величины концентрации СО, при воздействии которых есть экспериментальные значения по накоплению карбоксигемоглобина в крови [12] в случае свободного дыхания и которые близки



**Рис. 1.** Зависимости процентного содержания карбоксигемоглобина от плотности СО во вдыхаемом воздухе при спокойном дыхании при  $\tau_3 = 5$  мин (1, 2) и  $\tau_3 = 10$  мин (3, 4): 1, 3 — расчет; 2, 4 — эксперимент [12]

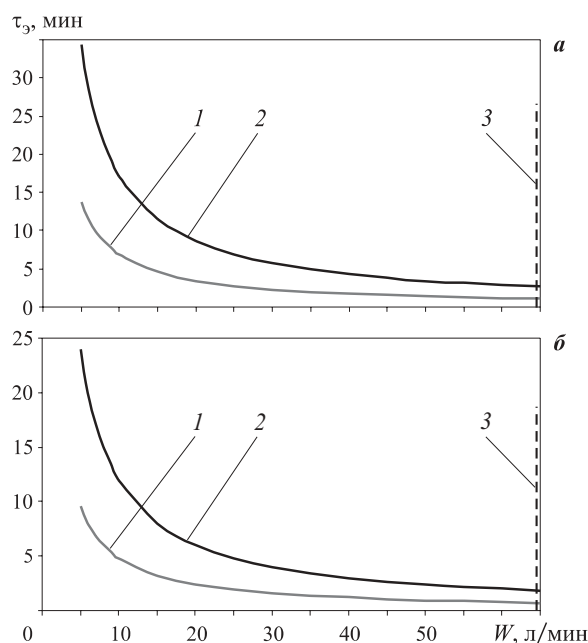


**Рис. 2.** Расчетные зависимости времени экспозиции от объемной скорости легочной вентиляции для случая  $\rho_{CO} = 0,0007$  кг/м³ при  $(M_{Hb})_{cp} = 708,75$  г (а) и  $(M_{Hb})_{min} = 495$  г (б): 1 —  $\overline{M}_{HbCO} = 0,2$ ; 2 —  $\overline{M}_{HbCO} = 0,5$ ; 3 —  $W = W_{max}$

к критическому значению  $\rho_{CO\text{ кр}}$ :  $\rho_{CO} = 0,0007$  кг/м³ и  $\rho_{CO} = 0,0012$  кг/м³.

Объемная скорость вентиляции легких, соответствующая диффузионной способности легких по СО,  $W_{max}$  при заданных исходных данных составляет: при спокойном дыхании — 21,6 л/мин; при физической нагрузке — 64,9 л/мин. Принимаем  $W_{max} = 64,9$  л/мин.

Расчетные зависимости времени экспозиции, при котором происходит отравление организма легкой



**Рис. 3.** Расчетные зависимости времени экспозиции от объемной скорости легочной вентиляции для случая  $\rho_{CO} = 0,0012$  кг/м³ при  $(M_{Hb})_{cp} = 708,75$  г (а) и  $(M_{Hb})_{min} = 495$  г (б): 1 —  $\overline{M}_{HbCO} = 0,2$ ; 2 —  $\overline{M}_{HbCO} = 0,5$ ; 3 —  $W = W_{max}$

**Таблица 2.** Значения времени экспозиции, при которых при максимальной объемной скорости вентиляции легких, соответствующей диффузионной способности легких по СО, происходит отравление легкой и средней степени тяжести

| $\rho_{CO}, \text{кг/м}^3$ | Удельная масса гемоглобина в крови взрослого человека | $\tau_3$ , мин, при степени тяжести отравления |         |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------|
|                            |                                                       | легкой                                         | средней |
| 0,0007                     | Средняя                                               | 1,81                                           | 4,53    |
|                            | Минимальная                                           | 1,26                                           | 3,16    |
| 0,0012                     | Средняя                                               | 1,06                                           | 2,64    |
|                            | Минимальная                                           | 0,74                                           | 1,84    |

и средней степени тяжести, от объемной скорости легочной вентиляции представлены на рис. 2 для  $\rho_{CO} = 0,0007$  кг/м³ и на рис. 3 — для  $\rho_{CO} = 0,0012$  кг/м³. Расчет выполнен с использованием формулы (6).

Результаты расчетов при максимальной объемной скорости вентиляции легких, соответствующей диффузионной способности легких по СО, представлены в табл. 2.

В соответствии с [18] критические концентрации токсичных продуктов горения принимаются по литературным данным для условий одноразового воздействия на эвакуирующихся в течение нескольких минут при средних физических нагрузках и по критерию сохранения ими способности реально оценивать окружающую обстановку, уверенно принимать и выполнять соответствующие решения. Полученные в настоящей статье временные пределы, при

которых наступают поражения организма человека легкой и средней степени тяжести, показывают необходимость более тщательно выбирать  $\rho_{\text{CO кр}}$ , так как при критической плотности монооксида углерода взрослый человек с минимальной массой гемоглобина в крови примерно через 0,74 мин почувствует головную боль и слабость, а через 1,84 мин могут наступить кома, судороги, нарушения дыхания и сердечно-сосудистой деятельности.

### Заключение

Принятая в научной и нормативной литературе по пожарной безопасности критическая плотность

монооксида углерода  $\rho_{\text{CO кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$  при повышенной объемной скорости легочной вентиляции, характерной для условий пожара, при определенных условиях может сделать невозможной безопасную эвакуацию людей.

Для обоснования критической плотности СО необходимо продолжить исследования, в частности уточнить влияние на объемную скорость легочной вентиляции повышенной концентрации углекислого газа, пониженной концентрации кислорода и интенсивности движения людей, а также уточнить величину коэффициента  $k_{\text{И}}$  при повышенной объемной легочной вентиляции  $W$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белешиников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 1996. — 24 с.
2. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
3. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. — М. : МЧС России, 2009. — 45 с.
5. Hartzell G. E., Priest D. N., Switzer W. G. Modeling of toxicological effects of fire gases: II. Mathematical modeling of intoxication of rats by carbon monoxide and hydrogencyanide // Journal of Fire Sciences. — 1985. — Vol. 3, No. 2. — P. 115–128. DOI: 10.1177/073490418500300204.
6. Hartzell G. E., Emmons H. W. The fractional effective dose model for assessment of toxic hazards in fires // Journal of Fire Sciences. — 1988. — Vol. 6, No. 5. — P. 356–362. DOI: 10.1177/073490418800600504.
7. Hirschler M. M. Smoke toxicity measurements made so that the results can be used for improved fire safety // Journal of Fire Sciences. — 1991. — Vol. 9, No. 4. — P. 330–347. DOI: 10.1177/073490419100900407.
8. Alexeeff G. V., Puckham S. C. Evaluation of smoke toxicity using concentration-time products // Journal of Fire Sciences. — 1984. — Vol. 2, No. 5. — P. 362–379. DOI: 10.1177/073490418400200504.
9. Christian S. D., Shields T. J. Safe tolerability limits for carbon monoxide? A review of the clinical and fire engineering implications of a single, acute, sub-lethal exposure // Journal of Fire Sciences. — 2000. — Vol. 18, No. 4. — P. 308–323. DOI: 10.1177/073490410001800404.
10. Hartzell G. E. Prediction of the toxic effects of fire effluents // Journal of Fire Sciences. — 1989. — Vol. 7, No. 3. — P. 179–193. DOI: 10.1177/073490418900700303.
11. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
12. Матвиенко Н. Н., Потапишиков П. Ф., Федоров Н. П., Баюкин М. В., Матвиенко А. Н. Фильтрующие самоспасатели и защита от монооксида углерода // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 48–51.
13. Внутренние болезни. — В 10 кн. — Кн. 6. Болезни дыхательных путей. Болезни почек и мочевых путей / Пер. с англ.; под ред. Е. Браунвальда, К. Дж. Иссельбахера, Р. Г. Петерсдорфаидр. — М. : Медицина, 1995. — 416 с.
14. Kuligowski E. D. NIST Technical Note 1644. Compilation of data on the sublethal effects of fire effluent. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2009. — 47 p.
15. Wilbur S., Williams M., Williams R. et al. Toxicological profile for carbon monoxide. — Atlanta : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK153693/> (дата обращения: 03.03.2016).
16. Фаткуллин К. В., Гильманов А. Ж., Костюков Д. В. Клиническое значение и современные методологические аспекты определения уровня карбокси- и метгемоглобина в крови // Практическая медицина. — 2014. — № 3(79). — С. 17–21.

17. Физиология человека : учебник / Под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Медицина, 2003. — 656 с.
18. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 14 с.

*Материал поступил в редакцию 18 марта 2016 г.*

**Для цитирования:** Пузач С. В., Нгуен Дат Тат. Критическое значение концентрации монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 5–11. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.5-11.

English

## CRITICAL VALUE OF THE CONCENTRATION OF CARBON MONOXIDE AT A FIRE IN THE ROOM

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

**NGUYEN DAT TAT**, Postgraduate Student of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: nguyentatdat1308@gmail.com)

### ABSTRACT

The features of the defeat of the human body by carbon monoxide are considered. It is shown that the percentage of carboxyhemoglobin in blood determines the degree of person in toxication. It is noted that the experimental study of the effect of CO on the person, as a rule, carried out in an environment where there were no other hazards of fire and the breath of man was calm at a flow rate of pulmonary ventilation of the order of 5–9 l/min.

A mathematical model for calculating the percentage of carboxyhemoglobin in the blood when exposed to CO is proposed. The model takes into account the concentration of CO in the breathing air, the mass of hemoglobin in the blood, the volume rate of ventilation, the volume of the “dead” space of the respiratory, lung diffusion capacity for CO and CO exposure time.

A comparison of the estimated content of carboxyhemoglobin with the experimental data reported in the literature and obtained when exposed to human constant CO concentration during quiet breathing is made. It is shown that the calculated values match with the experimental values with an error not exceeding 27 %.

The results of numerical experiments to determine the concentration of carboxyhemoglobin at an elevated rate of lung ventilation that is typical for fire conditions in the room are presented.

It is shown that the critical value of the concentration of carbon monoxide ( $0.00116 \text{ kg/m}^3$ ), adopted in the regulatory and scientific literature on fire safety, may make it impossible for the safe evacuation of people under certain conditions. In the context of the maximum possible volume of pulmonary ventilation rate, the corresponding lung diffusion capacity for CO, for an average adult human at a constant concentration of carbon monoxide, which is close to its critical value, some mild poisoning occurs within 1.06 min, moderately severe — by 2.64 min. When blood hemoglobin minimum weight of an adult, mild poisoning occurs by 0.74 min, and moderately severe — after 1.84 min.

**Keywords:** fire; carbon monoxide; critical time; carboxyhemoglobin; human in toxication.

### REFERENCES

1. Beleshnikov I. L. *Sudebno-meditsinskaya otsenka soderzhaniya tsianidov v organakh i tkanyakh lyudey, pogibshikh v usloviyakh pozhara: avtoref. dis. kand. med. nauk* [Forensic medical assessment of the content of cyanide in the organs and tissues of people who died in a fire. Abstr. dr. med. sci. diss.]. Saint Petersburg, 1990. 24 p.

2. Puzach S. V., Smagin A. V., Lebedchenko O. S., Abakumov E. S. *Novyye predstavleniya o raschete neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey i ob effektivnosti ispolzovaniya portativnykh filtruyushchikh samospasateley pri evakuatsii na pozharakh* [New ideas about the calculation of necessary time of evacuation of people and the effectiveness of using a portable filter self-rescuers during evacuation at fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 222 p.
3. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems of fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.
4. Method of determining the estimated values of the fire risk in buildings, construction and structures of various classes of functional fire hazard. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2009. 45 p. (in Russian).
5. Hartzell G. E., Priest D. N., Switzer W. G. Modeling of toxicological effects of fire gases: II. Mathematical modeling of intoxication of rats by carbon monoxide and hydrogencyanide. *Journal of Fire Sciences*, 1985, vol. 3, no. 2, pp. 115–128. DOI: 10.1177/073490418500300204.
6. Hartzell G. E., Emmons H. W. The fractional effective dose model for assessment of toxic hazards in fires. *Journal of Fire Sciences*, 1988, vol. 6, no. 5, pp. 356–362. DOI: 10.1177/073490418800600504.
7. Hirschler M. M. Smoke toxicity measurements made so that the results can be used for improved fire safety. *Journal of Fire Sciences*, 1991, vol. 9, no. 4, pp. 330–347. DOI: 10.1177/073490419100900407.
8. Alexeeff G. V., Puckham S. C. Evaluation of smoke toxicity using concentration-time products. *Journal of Fire Sciences*, 1984, vol. 2, no. 5, pp. 362–379. DOI: 10.1177/073490418400200504.
9. Christian S. D., Shields T. J. Safe tolerability limits for carbon monoxide? A review of the clinical and fire engineering implications of a single, acute, sub-lethal exposure. *Journal of Fire Sciences*, 2000, vol. 18, no. 4, pp. 308–323. DOI: 10.1177/073490410001800404.
10. Hartzell G. E. Prediction of the toxic effects of fire effluents. *Journal of Fire Sciences*, 1989, vol. 7, no. 3, pp. 179–193. DOI: 10.1177/073490418900700303.
11. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000. 118 p.
12. Matvienko N. N., Potashnikov P. F., Fedorov N. P., Bayukin M. V., Matvienko A. N. Filtruyushchiye samospasateli i zashchita ot monooksida ugleroda [The filter self-rescuers and protection against carbon monoxide]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 48–51.
13. Braunwald E., Isselbacher K. J., Petersdorf R. G. et al. (eds.). *Harrison's principles of internal medicine*. 11<sup>th</sup> ed. New York, McGraw – Hill Book Company, 1987 (Russ. ed.: Braunvald E., Isselbakher K. Dzh., Petersdorf R. G. et al. (eds.). *Vnutrenniye bolezni*. V 10 knigakh. Kniga 6: Bolezni dykhatelnykh putey. Bolezni pochetk i mochevykh putey. Moscow, Meditsina Publ., 1995. 416 p.).
14. Kuligowski E. D. *NIST Technical Note 1644. Compilation of data on the sublethal effects of fire effluent*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2009. 47 p.
15. Wilbur S., Williams M., Williams R. et al. *Toxicological profile for carbon monoxide*. Atlanta, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK153693/> (Accessed 3 March 2016).
16. Phatkullin K. V., Gilmanov A. Zh., Kostyukov D. V. Klinicheskoye znachenie i sovremennyye metodologicheskiye aspekty opredeleniya urovnya karboksi- i metgemoglobina v krovi [Clinical importance and modern methodological aspects of determining the level of carboxy- and methahemoglobin in blood]. *Prakticheskaya meditsina — Practical Medicine*, 2014, no. 3(79), pp. 17–21.
17. Pokrovskiy V. M., Korotko G. F. (eds.). *Fiziologiya cheloveka: uchebnik. 2-e izd.* [Human Physiology. Textbook. 2<sup>nd</sup> ed.]. Moscow, Meditsina Publ., 2003. 656 p.
18. *Set of rules 11.13130.2009. Location of fire service divisions. Procedure and methods of determination*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 14 p. (in Russian).

**For citation:** Puzach S. V., Nguyen Dat Tat. Kriticheskoye znachenie kontsentratsii monooksida ugleroda pri pozhare v pomeshchenii [Critical value of the concentration of carbon monoxide at a fire in the room]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 5–11. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.5-11.

**М. В. АЛЕШКОВ**, д-р техн. наук, профессор, заместитель начальника по научной работе, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

**Р. А. ЕМЕЛЬЯНОВ**, канд. экон. наук, заместитель начальника Учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: roman\_e77@mail.ru)

**А. А. КОЛБАСИН**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела пожарной и аварийно-спасательной техники Учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

**В. Д. ФЕДЯЕВ**, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: fedyaeff.v@yandex.ru)

УДК 614.843.4

## УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Рассмотрена проблематика тушения пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением. Обозначены актуальные проблемы при тушении пожаров на объектах энергетики. Рассмотрено применение современных средств тушения пожаров. Приведены результаты исследования по определению показателей тока утечки по струе компрессионной пены при тушении пожаров электрооборудования под напряжением. Представлены результаты математического анализа полученных данных; определены математические зависимости тока утечки по струе компрессионной пены от напряжения на электрооборудовании, расстояния от ствола до электрооборудования под напряжением и коэффициента водовоздушной смеси. Даны рекомендации по эффективному и безопасному применению компрессионной пены для тушения пожаров электрооборудования под напряжением.

**Ключевые слова:** атомная электростанция; ток утечки; электрооборудование под напряжением; безопасное расстояние; стенд для определения тока утечки по струе ОТВ; компрессионная пена.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.12-18

Наибольшую значимость для экономики страны имеет энергетический сектор, основу которого составляют объекты энергетики. От нормального функционирования этих объектов напрямую зависит устойчивое развитие общества и государства, поэтому безопасность на объектах энергетики, в том числе пожарная, является одной из приоритетных задач государственной политики. Как показал анализ статистических данных, в последнее десятилетие наблюдается увеличение числа крупных аварий и пожаров на объектах энергетической отрасли, сопровождающихся значительным материальным ущербом, гибелью и травматизмом людей. Ежегодно на территории Российской Федерации происходит около 700 пожаров на объектах энергетики [1].

Повреждение и выход из строя дорогостоящего энергетического оборудования составляют основной ущерб от таких пожаров. Помимо прямого материального ущерба от пожара, значительных размеров

достигает также косвенный ущерб от перебоев в подаче электропитания, отключения подачи электро- и теплоэнергии, необходимых для обеспечения жизнедеятельности населения. Особую же опасность представляют пожары на объектах атомной энергетики, так как они могут привести к катастрофическим последствиям, если их своевременно не локализовать.

Согласно существующим рекомендациям по тушению пожаров на объектах энергетики [2] при возникновении пожара первоочередной задачей является обесточивание токоведущих частей электрооборудования. Сложность же тушения пожаров на объектах атомной энергетики заключается в том, что примерно в 30 % всех помещений объектов запрещено проводить отключение электрооборудования, так как это может повлечь за собой нарушение безопасной работы ядерного реактора [3]. Исходя из этого, тушение пожара необходимо осуществлять

без отключения напряжения на токоведущих частях и агрегатах электрооборудования. Основную опасность при тушении пожаров электрооборудования под напряжением представляет возможность поражения личного состава, участвующего в тушении, электрическим током, проходящим по струе огнетушащего вещества (ОТВ), подаваемого на горящее электрооборудование. Для снижения данной опасности необходимо применять средства защиты от поражения электрическим током, а также учитывать безопасные расстояния от позиции ствольщика до горящих токоведущих частей [4]. Безопасным расстоянием считается такое расстояние, при котором максимально допустимый ток утечки по струе ОТВ не превышает значения 0,5 мА, являющегося неощутимым для организма человека [5].

Самое распространенное огнетушащее вещество при тушении пожаров — вода. Однако ее применение при тушении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей неэффективно, а основной горючей нагрузкой при возгорании электрооборудования являются находящиеся в нем горючие жидкости и масла. Применение же всех видов пенообразователей и поверхностно-активных веществ (ПАВ) для повышения огнетушащей способности воды запрещено, поскольку из-за большого количества содержащихся в данных веществах минеральных солей значительно повышается проводимость струи. Это, в свою очередь, может привести к поражению личного состава подразделений пожарной охраны электрическим током. Таким образом, проблема подбора эффективного и безопасного ОТВ для тушения электрооборудования под напряжением приобретает значительную актуальность. В связи с этим очевидна необходимость исследований, направленных на развитие новых технологий пожаротушения, которые позволят решить задачу подбора эффективного ОТВ для тушения пожаров электрооборудования под напряжением.

Развитие и совершенствование технологий пожаротушения позволило создать новый способ подачи пены при тушении пожара. Технология получения компрессионной пены предусматривает подачу на очаг пожара по насосно-рукавной системе пожарных автомобилей не раствора пенообразователя, а воздушно-механической пены [6–8]. Технология заключается в том, что раствор пенообразователя смешивается со сжатым воздухом и по рукаву поступает сформировавшаяся при этом воздушно-механическая пена. Применяемая для тушения пожаров компрессионная пена имеет те же свойства, что и простая пена, полученная традиционным вспениванием, однако у нее есть ряд отличительных особенностей, повышающих ее применимость для

тушения пожаров электрооборудования под напряжением. К ним относятся [9–12]:

- высокая дальность подачи (до 25 м при давлении 7 атм);
- низкий расход огнетушащего вещества (1,5–2,0 л/с);
- отсутствие жидкой фазы (весь раствор переходит в пену);
- равномерное структурированное строение пены с равным размером пузырьков (1,5–2,0 мм), с более толстой стенкой пузырька, что повышает ее стойкость;
- высокая адгезионная способность пены, обусловленная низким содержанием в ней воды;
- возможность подачи на высоту до 200 м.

Помимо всего прочего, компрессионная пена не предназначена для объемного тушения путем заполнения зоны горения.

Значимым параметром, характеризующим компрессионную пену, является кратность, которая определяет отношение объема раствора пенообразователя к объему затрачиваемого сжатого воздуха.

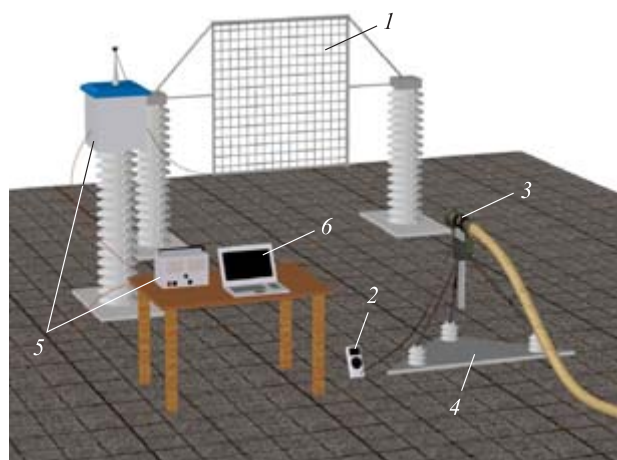
На территории Российской Федерации применение компрессионной пены только начинает приобретать популярность, однако даже небольшой опыт ее использования позволяет сделать вывод о высокой эффективности данной технологии.

Специалистами Академии ГПС МЧС России были проведены экспериментальные исследования по установлению возможности применения компрессионной пены для тушения пожаров электрооборудования под напряжением. Исследования проводились с использованием испытательного стенда для определения тока утечки по струе ОТВ из ручных пожарных стволов (рис. 1 и 2) [13].

При подаче компрессионной пены на мишень 1 под напряжением производятся замеры тока утечки, проходящего по струе ОТВ на пожарный ствол 3, с помощью цифрового мультиметра 2.

В ходе проведения экспериментального исследования учитывалось также влияние на ток утечки по струе таких параметров, как напряжение на мишени, расстояние от ствола до мишени и кратность компрессионной пены.

Ввиду того что термин “кратность” в традиционном понятии трактуется как отношение полученного объема пены к объему раствора, затраченного на ее образование, для характеристики состава пены было предложено ввести новый термин “коэффициент водовоздушной смеси”  $K$ . Коэффициент водовоздушной смеси характеризует отношение объема воздуха, пошедшего на образование компрессионной пены, к количеству раствора, пошедшего на ее образование в единицу времени, и может принимать значения от 2 до 20. С повышением коэффициента водо-



**Рис. 1.** Принципиальная схема стенда для определения тока утечки по струе ОТВ из ручных пожарных стволов: 1 — мишень; 2 — цифровой мультиметр; 3 — ствол установки пожаротушения; 4 — изолированная опора для установки пожарного ствола; 5 — аппарат испытания диэлектриков “АИД-70М”; 6 — компьютер для приема данных

воздушной смеси содержание водного раствора пенообразователя в компрессионной пене уменьшается.

В табл. 1 приведены максимальные значения токов утечки по струе огнетушащего вещества при определенных значениях параметра.

По результатам экспериментального исследования по оценке возможности применения компрессионной пены для тушения пожаров электрооборудования под напряжением предлагается ввести еще одну характеристику компрессионной пены, которая в зависимости от коэффициента водовоздушной



**Рис. 2.** Эксперимент по оценке возможности применения компрессионной пены для тушения электрооборудования под напряжением

смеси позволяет разделить ее на два типа: так называемую “мокрую” ввиду ее повышенных электропроводных свойств ( $K < 10$ ) и “сухую” ( $K \geq 10$ ). Такие характеристики компрессионной пены приняты с учетом подачи компрессионной пены с расстояния не менее 2 м.

По результатам эксперимента в целях выявления закономерностей был проведен математический анализ полученных данных методом множественной регрессии [14]. Была определена зависимость показателей тока утечки по струе ОТВ от расстояния до мишени при различных значениях коэффициента водовоздушной смеси. Для этого было принято уравнение регрессии вида

$$I = L^a K^b c, \quad (1)$$

где  $I$  — значение тока утечки по струе ОТВ, мкА;

**Таблица 1.** Максимальные значения токов утечки по струе ОТВ, полученные в ходе экспериментального исследования

| Расстояние до мишени, м | Напряжение на мишени, кВ | Значение тока утечки по струе, мкА, в зависимости от коэффициента водовоздушной смеси |       |       |       |       |       |       |        |        |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|                         |                          | 18                                                                                    | 16    | 14    | 12    | 10    | 8     | 6     | 4      | 2      |
| 2                       | 30                       | 74,8                                                                                  | 174,3 | 138,6 | 184,1 | 259,9 | 550,0 | 752,7 | 1081,9 | 1550,1 |
|                         | 20                       | 68,8                                                                                  | 96,0  | 98,3  | 126,2 | 136,5 | 265,2 | 526,4 | 560,0  | 1010,5 |
|                         | 10                       | 14,9                                                                                  | 21,3  | 33,2  | 45,5  | 59,1  | 106,0 | 208,6 | 299,8  | 524,3  |
| 3                       | 30                       | 14,8                                                                                  | 18,5  | 27,0  | 36,0  | 55,8  | 83,7  | 127,6 | 209,5  | 531,6  |
|                         | 20                       | 9,4                                                                                   | 11,8  | 21,2  | 28,4  | 36,3  | 50,0  | 67,5  | 91,9   | 126,1  |
|                         | 10                       | 4,6                                                                                   | 5,7   | 9,7   | 13,1  | 16,8  | 25,3  | 37,3  | 55,7   | 83,9   |
| 4                       | 30                       | 8,4                                                                                   | 10,5  | 13,0  | 17,3  | 22,1  | 30,3  | 40,9  | 55,6   | 76,2   |
|                         | 20                       | 10,1                                                                                  | 12,6  | 11,9  | 14,3  | 17,0  | 20,7  | 26,4  | 34,1   | 44,8   |
|                         | 10                       | 4,7                                                                                   | 5,2   | 3,9   | 4,8   | 5,7   | 7,3   | 9,4   | 12,3   | 16,4   |
| 5                       | 30                       | 6,7                                                                                   | 8,4   | 5,6   | 6,3   | 7,3   | 11,7  | 17,2  | 25,0   | 34,0   |
|                         | 20                       | 4,1                                                                                   | 5,1   | 4,7   | 5,9   | 7,2   | 8,6   | 10,2  | 12,0   | 14,2   |
|                         | 10                       | 2,2                                                                                   | 2,7   | 3,4   | 4,4   | 5,5   | 7,2   | 9,3   | 11,9   | 15,3   |
| 6                       | 30                       | 3,7                                                                                   | 4,6   | 6,7   | 9,2   | 12    | 16,1  | 20,9  | 26,9   | 34,7   |
|                         | 20                       | 1,7                                                                                   | 2,1   | 6,2   | 8,6   | 11,2  | 15,1  | 19,6  | 25,2   | 32,6   |
|                         | 10                       | 0,9                                                                                   | 1,0   | 2,9   | 4,0   | 5,1   | 6,3   | 7,4   | 8,6    | 10,1   |

$L$  — расстояние от ствола до мишени, м;  
 $a, b, c$  — поправочные коэффициенты линии регрессии.

Для уравнения (1) необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \ln L_i + b \sum_{i=1}^n \ln K_i + cn = \sum_{i=1}^n \ln I_i; \\ a \sum_{i=1}^n (\ln L_i)^2 + b \sum_{i=1}^n \ln K_i \cdot \ln L_i + \\ + c \sum_{i=1}^n \ln L_i = \sum_{i=1}^n \ln I_i \cdot \ln L_i; \\ a \sum_{i=1}^n \ln L_i \cdot \ln K_i + b \sum_{i=1}^n (\ln K_i)^2 + \\ + c \sum_{i=1}^n \ln K_i = \sum_{i=1}^n \ln I_i \cdot \ln K_i. \end{cases} \quad (2)$$

Индекс корреляции  $R$  определялся по формуле

$$R = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - M_y)^2}}, \quad (3)$$

где  $y_i$  — экспериментальные значения;

$Y_i$  — значения, найденные методом наименьших квадратов;

$M_y$  — среднее значение  $y$ .

В результате расчета были получены следующие показатели степенной функции зависимости тока утечки от расстояния между стволом и мишенью и коэффициента водовоздушной смеси при различных напряжениях  $U$  на мишени:

- $U = 30$  кВ ( $R = 0,95$ ):

$$I = 6,296 L^{-3,235} K^{1,099}, \quad (4)$$

- $U = 20$  кВ ( $R = 0,94$ ):

$$I = 5,763 L^{-3,003} K^{0,990}, \quad (5)$$

- $U = 10$  кВ ( $R = 0,93$ ):

$$I = 4,497 L^{-2,694} K^{1,096}. \quad (6)$$

Была определена также общая зависимость тока утечки по струе огнетушащего вещества от расстояния между стволом и мишенью, напряжения на мишени и коэффициента водовоздушной смеси. Опуская все математические преобразования, получаем уравнение регрессии ( $R = 0,94$ ):

$$I = 39,621 U^{0,997} L^{-2,978} K^{1,061}. \quad (7)$$

На основании уравнения (7) был построен график, определяющий зависимость тока утечки от расстояния до мишени при различных напряжениях на ней, и проведено сравнение с полученными экспериментальными данными (рис. 3).

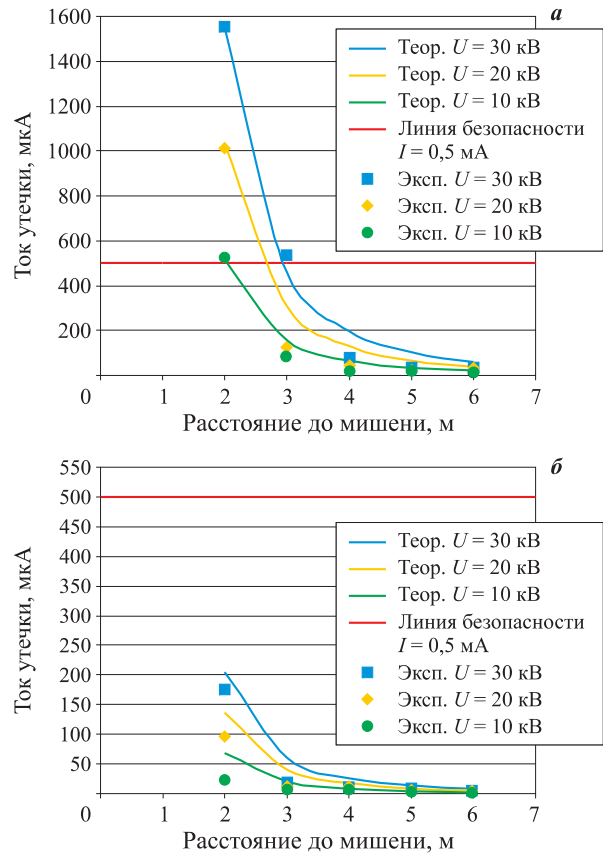


Рис. 3. Теоретическая зависимость тока утечки по струе компрессионной пены при различных напряжениях при  $K = 2$  (а) и  $K = 18$  (б)

При визуальном анализе представленных графических зависимостей (см. рис. 3) было установлено, что уравнение степенной функции, полученное в результате обработки методом множественной регрессии, наиболее точно описывает экспериментальные показатели тока утечки по струе компрессионной пены, что подтверждает достоверность проведенного анализа.

В результате экспериментов можно сделать выводы о возможности применения компрессионной пены для тушения электрооборудования под напряжением. Однако стоит учитывать, что при уменьшении коэффициента водовоздушной смеси величина тока утечки по струе компрессионной пены растет. В исследованиях также было определено, что при тушении электрооборудования под напряжением до 30 кВ запрещено применять “мокрую” компрессионную пену с  $K < 10$ , и при этом расстояние от ствола до электрооборудования под напряжением должно быть не менее 5 м.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить условия применения одной из современных технологий пожаротушения — подачи компрессионной пены для ликвидации пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2011 г. : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ФГБУ ВНИИПО, 2012. — 137 с.
2. Тактика тушения электроустановок, находящихся под напряжением : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 1986. — 17 с.
3. Алешков М. В., Пушкин Д. С., Колбасин А. А. Особенности развития и тушения пожаров на объектах энергетики // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2010. — № 3. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09-03-10.ttb.pdf> (дата обращения: 30.03.2016).
4. Колбасин А. А. Нормирование требований к средствам тушения электрооборудования под напряжением на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 152 с.
5. Алешков М. В., Емельянов Р. А., Колбасин А. А., Федяев В. Д. Применение сплошных водных струй при тушении электроустановок под напряжением на объектах атомной энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 4. — С. 17–23.
6. Залесов С. В., Годовалов Г. А., Кректунов А. А. Система пожаротушения Natisk для остановки и локализации лесных пожаров // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 3. — 6 с.
7. Навроцкий О. Д. и др. Исследование параметров пены, подаваемой с помощью пеногенерирующих систем со сжатым воздухом // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2011. — № 2(30). — С. 125–132.
8. Навроцкий О. Д. и др. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом — средство пенного пожаротушения нового поколения // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. — 2012. — № 1(15). — С. 22–31.
9. Routley J. Gordon. Compressed air foam for structural fire fighting: A field test. — Boston, Massachusetts, 1994. — 29 p.
10. Brinkley J., Depew R. Capabilities and limitations of compressed air foam systems (CAFS) for structural firefighting. — Quincy, MA : Fire Protection Research Foundation, 2012. — 58 p.
11. Kim A. K., Dlugogorski B. Z. Multipurpose overhead compressed-air foam system and its fire suppression performance // Journal of Fire Protection Engineering. — 1996. — Vol. 8, No. 3. — P. 133–150. DOI: 10.1177/104239159600800303.
12. Kim A., Crampton G., Asselin J. P. A comparison of the fire suppression performance of compressed-air foam and foam-water sprinkler systems for Class B hazards. — National Research Council Canada. Institute for Research in Construction, 2012. — 35 p.
13. Колбасин А. А. Экспериментальное исследование величины тока утечки по струе огнетушащего вещества из ручных пожарных стволов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 2. — С. 10–16.
14. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. — М. : Физматлит, 2012. — 816 с.

*Материал поступил в редакцию 5 апреля 2016 г.*

**Для цитирования:** Алешков М. В., Емельянов Р. А., Колбасин А. А., Федяев В. Д. Условия применения современных технологий пожаротушения для ликвидации пожаров электрооборудования под напряжением // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 12–18. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.12-18.

English

## TERMS OF THE USE OF MODERN FIRE EXTINGUISHING TECHNOLOGIES FOR FIRE LIQUIDATION ON ENERGIZED ELECTRICAL EQUIPMENT

**ALESHKOV M. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of Scientific Work, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

**EMEL'YANOV R. A.**, Candidate of Economic Sciences, Deputy Head of Educational-Scientific Complex Fire and Rescue Appliances, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina st., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: roman\_e77@mail.ru)

**KOLBASIN A. A.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Research Department of Fire and Rescue Appliances, Educational-Scientific Complex Fire and Rescue Appliances, State Fire Academy of Emercome of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

**FEDYAEV V. D.**, Postgraduate Student of Education of Scientific and Pedagogical Staff Faculty, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: fedyaeff.v@yandex.ru)

## ABSTRACT

**Purpose.** Fire extinguishing at nuclear power facilities is particularly difficult because of impossibility to de-energize equipment responsible for work of the nuclear reactor. During the fire the main fire load is made by the combustible liquids and polymeric materials which are a part of electric equipment, and the main fire extinguishing substance is water but it is not always effective. Today according to the statutory enactments the application of all types of foam agents for extinguishment of the fires of energized equipment is forbidden. Technical development of modern extinguishing methods allowed creating technology of compressing air-foam systems (CAFS). This article contains research aimed at detection of the feasibility of modern technologies of extinction energized electrical equipment with CAFS using for the purpose of determining the dependent index.

**Methods.** During the research the stand for defining the current leakage on the jet of compressing air-foam was used, which was developed by the specialists from the State Fire Academy of Emercom of Russia.

**Results.** As a consequence of the research safe distance for compressing air-foam was determined. This distance should be abided during the extinguishing of energized electrical equipment. Also the mathematical analysis is carried out by method of multiple regressions which has allowed determining dependences of current of leak by a stream of fire extinguishing substance from distance to electric equipment, tension on equipment and coefficient of air-and-water mix. Definition “wet” and “dry” compression foam and criterion of its definition at fires extinguishing of the energized equipment with use of CAFS was offered.

**Research application field.** The obtained results give reason to believe that the use of compressing air-foam of extinction energized electrical equipment allow reducing electrical risk of personal. And also to estimate previously possibilities of fire brigades at fires extinguishing at nuclear power facilities.

**Conclusion.** The research results were drawn up the recommendations of compressing air-foam extinction of energized electrical equipment.

**Keywords:** nuclear power station; current leakage; energized electrical; safe distance; stand to determine the current leakage on the jet of extinguishing agents; compression foam.

## REFERENCES

1. Klimkin V. I. (ed.) *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2011 g.: statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2011. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012. 137 p.
2. *The tactics of extinction of energized electrical equipment. Recommendations*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1986. 17 p. (in Russian).
3. Aleshkov M. V., Pushkin D. S., Kolbasin A. A. Osobennosti razvitiya i tusheniya pozharov na obyek-takh energetiki [Features of development and suppression of fires on objects of power]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2012, no. 3. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09-03-10.ttb.pdf> (Accessed 30 March 2016).

4. Kolbasin A. A. *Normirovaniye trebovaniy k sredstvam tusheniya elektrooborudovaniya pod napryazheniyem na ob'yektakh energetiki: dis. kand. tekhn. nauk* [Limitation of fire-extinguishing means of energized equipment of power. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 152 p.
5. Aleshkov M. V., Emelyanov R. A., Kolbasin A. A., Fedyaev V. D. *Primeneniye sploshnykh vodnykh struy pri tushenii elektroustanovok pod napryazheniyem na ob'yektakh atomnoy energetiki* [Application of water jets in extinguishing energized electric installations at nuclear power facilities]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya* — *Fire and Emergency: Prevention, Liquidation*, 2014, no. 4, pp. 17–23.
6. Zalesov S. V., Godovalov G. A., Krektunov A. A. *Fire-fighting system Natisk for checking a fire and woods fire isolation*. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* — *Contemporary Issues of Science and Education*, 2014, no. 3. 6 p.
7. Navrotsky O. D. et al. *Issledovaniye parametrov peny, podavayemoy s pomoshchyu penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom* [Research of foam characteristics supplying with fire foam producing machine with compressed air]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya* — *Emergency: Preventing and Liquidation*, 2011, no. 2(30), pp. 125–132.
8. Navrotsky O. D. et al. *Penogeneriruyushchiye sistemy so szhatym vozdukhom — sredstvo pennogo pozharotusheniya novogo pokoleniya* [Compressed air-foam system — the mean of fire extinguishment of new generation]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus* — *Reporter of Commanding Engineering Institute of Emercom of Republic of Belarus*, 2012, no. 1(15), pp. 22–31.
9. Routley J. Gordon. *Compressed air foam for structural fire fighting. A field test*. Boston, Massachusetts, 1994. 29 p.
10. Brinkley J., Depew R. *Capabilities and limitations of compressed air foam systems (CAFS) for structural firefighting*. Quincy, MA, Fire Protection Research Foundation, 2012. 58 p.
11. Kim A. K., Dlugogorski B. Z. *Multipurpose overhead compressed-air foam system and its fire suppression performance*. *Journal of Fire Protection Engineering*, 1996, vol. 8, no. 3, pp. 133–150. DOI: 10.1177/104239159600800303.
12. Kim A., Crampton G., Asselin J. P. *A comparison of the fire suppression performance of compressed-air foam and foam-water sprinkler systems for Class B hazards*. National Research Council Canada. Institute for Research in Construction, 2012. 35 p.
13. Kolbasin A. A. *Eksperimentalnoye issledovaniye velichiny toka utechki po struye ognetushashchego veshchestva iz ruchnykh pozharnykh stvolov* [Application of water jets in extinguishing energized electric installations at nuclear power facilities]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya* — *Fire and Emergency: Prevention, Liquidation*, 2012, no. 2, pp. 10–16.
14. Kobzar A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Mathematical statistics. For engineers and academic specialists]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2012. 816 p.

**For citation:** Aleshkov M. V., Emelyanov R. A., Kolbasin A. A., Fedyaev V. D. *Usloviya primeneniya sovremennykh tekhnologiy pozharotusheniya dlya likvidatsii pozharov elektrooborudovaniya pod napryazheniyem* [Terms of the use of modern fire extinguishing technologies for fire liquidation on energized electrical equipment]. *Pozharovzryvobezopasnost* — *Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 12–18. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.12-18.

**Л. К. ИСАЕВА**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры экологической безопасности, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ecolis@mail.ru)

**Г. С. НИКИТИНА**, адъюнкт, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: gali555@yandex.ru)

**В. А. СУЛИМЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, начальник УНК процессов горения и экологической безопасности, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: sulimenko39@yandex.ru)

УДК 614.841.45.504.05

## ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Рассмотрена проблема обеспечения экологической безопасности населения и окружающей среды при пожарах в жилых домах. При этих пожарах впервые методом хромато-масс-спектрометрии установлено наличие дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов в почве (2,29 нгДЭ/кг) и в золе сгоревшей горючей нагрузки жилых домов (13,3 нгДЭ/кг). Показано, что диоксины и дибензофураны обладают свойством распространяться по воздуху, воде и пищевым цепям, накапливаться в живых организмах и имеют длительный период полувыведения. Установлено также, что накопление диоксинов и дибензофуранов в организме провоцирует нарушение репродуктивной, гормональной функций и иммунной системы человека. Даны рекомендации по снижению опасного воздействия этих суперэкоотоксикантов на окружающую среду, жизнь и здоровье населения и пожарных.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность; пожарная безопасность; пожары в жилых домах; погибшие и получившие травмы на пожарах; токсичность полихлорированных диоксинов и дибензофуранов; хромато-масс-спектрометрия; загрязнение почвы.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.19-26

В соответствии со ст. 3 Федерального закона № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды” [1] обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности на территории субъектов страны является одной из основных функций органов государственной власти РФ и органов местного самоуправления.

Принцип ответственности за обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности отражен в “Основах государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года” [2].

К функциям по обеспечению экологической безопасности, которые на практике осуществляет МЧС России, можно отнести меры по предупреждению и ликвидации пожаров, поскольку они сопровождаются загрязнением окружающей среды.

Так как состояние окружающей среды городских и сельских поселений — одна из наиболее острых социально-экономических проблем страны и на них приходится основная часть пожаров, то вопросы обеспечения экологической безопасности населения в связи с этим в высшей степени актуальны.

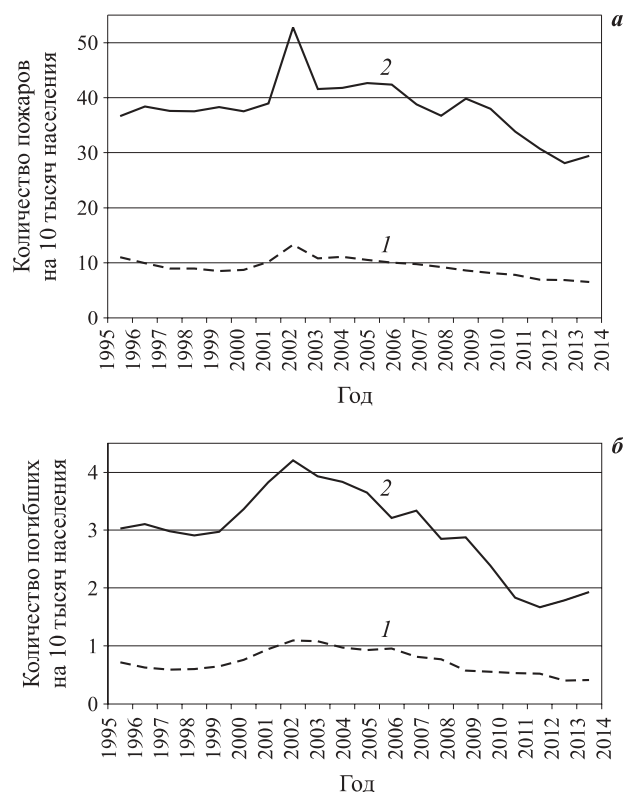
Цель настоящей работы — повысить эффективность управленческих решений, учитывающих по-

следствия пожаров в настоящем и будущем, путем научно обоснованных доказательств влияния на безопасность человека экологических факторов, сопровождающих процессы горения (изменения температуры, концентрации кислорода и токсичных продуктов горения).

Реализацию концепции экологически ориентированного управления пожарной безопасностью целесообразно начинать с углубленного изучения статистики пожаров в жилых домах, так как доля их достигает 70 % всех пожаров в стране, а число погибших на них от отравления продуктами горения — наибольшее по сравнению с остальными пожарами.

Объектом исследования была выбрана Московская область, занимающая особое место среди других субъектов РФ по численности населения и объему промышленного производства (второе после Москвы). По состоянию на 01.01.2012 г. на территории области, площадь которой превышает 45 тыс. км<sup>2</sup>, расположено 135 городов, 69 поселков городского типа, 6135 сельских населенных пунктов и проживает свыше 7 млн. чел. [3].

Общее число пожаров в области начало снижаться с 2002 г., но в меньшей степени, чем в среднем



Относительные показатели числа пожаров (а) и погибших (б) при пожарах в городах (1) и сельской местности (2) Московской области в 1995–2014 гг.

по стране. В сельских поселениях Московской области относительное число пожаров больше примерно в 3–4 раза, а число официально погибших — в 2–3 раза по сравнению с городскими поселениями (см. рисунок) [4, 5].

Правительством Московской области с учетом обстановки с пожарами были приняты две государственные программы: “Обеспечение безопасности жизнедеятельности населения Московской области на 2009–2012 годы” (с изменениями на 26.12.2012 г.) и “Безопасность Подмоскovie на 2014–2018 годы” [6].

В них сформулированы основные задачи по обеспечению пожарной безопасности на территории области:

- “организация и осуществление профилактики пожаров на территории Московской области и проведение мероприятий по повышению уровня пожарной безопасности в населенных пунктах, обучение населения мерам пожарной безопасности;
- снижение доли произошедших на территории Московской области пожаров в общем числе происшествий и чрезвычайных ситуаций в регионе на 6 % по сравнению с показателем 2012 года (к 2018 году);
- снижение доли погибших и травмированных людей на пожарах, произошедших на территории Московской области, от общего числа погиб-

ших и травмированных людей на территории Московской области по сравнению с показателем 2012 года к концу 2018 года на 1,4 %” [6].

Поставленные задачи направлены на снижение риска гибели и травмирования людей в момент или сразу после пожаров до социально приемлемого уровня согласно действующему с 17.03.2009 г. порядку учета пожаров и их последствий [7].

Погибшими считаются те люди, тела которых обнаружены на месте пожара, а травмированными — люди, получившие телесное повреждение (травму) там же в результате воздействия опасных факторов пожара (ОФП), на основании заключений, предоставляемых медицинскими организациями. (Телесное повреждение (травма) — нарушение анатомической целостности или физиологических функций органов и тканей человека.)

До 2009 г. факт смерти в результате пожара признавался, даже если он имел место несколько месяцев спустя [8]. Это вытекает из законов экологии, например законов экологического оптимума В. Шелфорда и лимитирующих факторов, поскольку опасные факторы пожара, по сути, являются экологическими факторами [9]. Так, в “Инструкции о порядке государственного статистического учета пожаров и последствий от них в Российской Федерации” от 1994 г. [8], утратившей с 17.03.2009 г. силу согласно приказу МВД России [10], погибшим при пожаре признавалось лицо, “смерть которого наступила непосредственно на месте пожара или в течение трех месяцев (90 дней) со дня происшествия от телесных повреждений (травм), полученных вследствие воздействия опасных факторов пожара”, на основании сведений, предоставляемых медицинскими учреждениями.

В соответствии с этими законами человек и другие биологические виды обладают толерантностью, т. е. способностью переносить отклонения от оптимальных значений экологических факторов вплоть до критических. Так как 90 % всех погибших на пожарах в жилых зданиях оказались жертвами отравления, то очевидно, что основным критическим экологическим фактором, который чаще других (например, температуры) обуславливает гибель человека, является концентрация токсичных продуктов горения в воздухе.

Согласно ГОСТ 12.1.004–91\* смерть или болезнь может наступить при следующих концентрациях токсичных продуктов в воздухе: диоксида углерода  $\text{CO}_2$  —  $0,11 \text{ кг/м}^3$ ; оксида углерода  $\text{CO}$  —  $0,00116 \text{ кг/м}^3$ ; паров соляной кислоты  $\text{HCl}$  —  $0,000023 \text{ кг/м}^3$ .

К счастью, если человек находится в среде с критическим уровнем воздействия на организм более короткое время, чем то, за которое может наступить смерть, он получает всего лишь легкое отравление.

Однако это не означает благополучный исход для его здоровья и жизни в будущем: тяжелое заболевание или смерть может наступить как в относительно короткие сроки, например 90 дней, так и значительно позже — спустя годы, вследствие того что в продуктах горения есть более токсичные вещества [8, 9], чем перечисленные в ГОСТ 12.1.004–91\*.

Повсеместное использование полимерных материалов при строительстве и оформлении интерьера жилых домов дает основание полагать, что при этих пожарах образуются такие токсичные продукты горения, как диоксины и дибензофураны. Их принято называть суперэкоотоксикантами, так как они являются стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) окружающей среды. К СОЗ относят некоторые органические соединения, которые токсичны в крайне малых количествах, устойчивы в воздухе, воде, почве и биообъектах, способны мигрировать на дальние расстояния, накапливаться в тканях людей, животных и растений.

При пожарах суперэкоотоксиканты могут адсорбироваться на стенах, находиться в золе, оседать на поверхность почвы и водоемов [11–13]. В результате они могут быть обнаружены в фито- и зоопланктоне, рыбе, ракообразных, в наземных растительности и животных. Таким образом, с водой и пищей (рыбной, растительной, мясной и особенно молочной), а также с воздухом при десорбции из почвы эти соединения могут попадать в организм человека [13]. Ввиду того что диоксины и дибензофураны способны к биоаккумуляции, они могут стать причиной заболеваний и смерти людей даже спустя 10–15 лет после пожара [14].

При проверке гипотезы о поступлении диоксинов в окружающую среду при пожарах в жилых домах основной акцент был сделан на загрязнении ими почв. Исследования проводились в сельских поселениях Орехово-Зуевского района Московской области. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, в сельских поселениях происходит больше пожаров, чем в городах. Во-вторых, на территории области повышенное содержание диоксинов в почве выявлено только вблизи городов Ногинск, Серпухов, Сергиев Посад, Тучково, Щелково, где находились химические предприятия, производившие хлорорганическую продукцию [15].

Пробы почвы были отобраны на месте пожаров в жилых домах Орехово-Зуевского района Московской области:

- 30.06.2012 г. в дачном поселке “Восток” возле г. Куровское: дом двухэтажный, деревянный, каркасный, площадью 62 м<sup>2</sup>. Время сообщения о пожаре 09 ч 14 мин, время прибытия пожарных 09 ч 21 мин. Погодные условия: 18 °С; ветер за-

падный, 0,5 м/с. Отбор проб почвы в 11 ч 20 мин 30.06.2012 г.;

- 06.07.2012 г. в частном доме д. Беливо: дом одноэтажный, деревянный, бревенчатый, площадью 82 м<sup>2</sup>. Время сообщения о пожаре 18 ч 05 мин, время прибытия 18 ч 13 мин. Погодные условия: 25 °С; ветер северо-западный, 1 м/с. Отбор проб почвы в 19 ч 40 мин 06.07.2012 г.;
- 22.07.2012 г. в дачном поселке “Радуга” возле г. Куровское: дом двухэтажный, деревянный, каркасный, площадью 56 м<sup>2</sup>. Время сообщения о пожаре 23 ч 15 мин, время прибытия 23 ч 23 мин. Погодные условия: 19 °С; ветер северо-западный, 1 м/с. Отбор проб почвы в 06 ч 30 мин 23.07.2012 г.;
- 05.08.2014 г. в дачном поселке “Рассвет” возле г. Куровское: дом двухэтажный, деревянный, каркасный, площадью 53 м<sup>2</sup>. Время сообщения о пожаре 10 ч 24 мин, время прибытия 10 ч 38 мин. Погодные условия: 22 °С; ветер северный, 2 м/с. Отбор проб почвы в 12 ч 10 мин 05.08.2014 г.

Отбор проб почв производился в соответствии с ГОСТ 174.3.01–83 (СТ СЭВ 3847–82) (Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб) на двух участках: один был расположен по направлению ветра, другой (контрольный) — в противоположном направлении. На расстоянии 10 м друг от друга по периметру с наветренной и подветренной стороны от очага пожара в непосредственной близости от него и на расстоянии 15 и 30 м было отобрано по три образца почвы. Для дальнейших исследований пробы почвы были измельчены и просеяны через сито для получения частиц размером 1 мм (ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа).

Содержание дибензо-п-диоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ) в пробах определяли методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) по методике ПНД Ф 16.1:2.2:3.56–2008 [16]. В настоящее время ХМС признана наиболее надежным методом аналитического определения содержания ПХДД и ПХДФ в различных матрицах благодаря высокой чувствительности и селективности. Вследствие ряда объективных причин образцы загрязненной почвы, отобранные на месте четырех пожаров, были объединены в общую пробу.

Анализ образцов почвы с золой показал, что в них присутствуют 17 различных полихлорированных диоксинов и дибензофуранов, включая самый токсичный из них — тетрахлордибензо-п-диоксин (2,3,7,8-ТХДД) (табл. 1 и 2). В доступных источниках литературы данные об этом отсутствуют. Токсичность диоксинов представлена в таблицах в мас-

**Таблица 1.** Содержание полихлорированных диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ) в почве вблизи очагов пожаров в деревянных домах сельских поселений Московской области и в образцах золы после сжигания материалов горючей нагрузки в лабораторных условиях

| Замещенные<br>ПХДД/ПХДФ                                | ДЭ (I-TEF)* | Массовая доля, нг/кг           |                                        | Эквивалентное загрязнение, нгДЭ/кг |                                        |
|--------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
|                                                        |             | Почва с золой<br>после пожаров | Зола после лабора-<br>торных испытаний | Почва с золой<br>после пожаров     | Зола после лабора-<br>торных испытаний |
| 2,3,7,8-ТХДД                                           | 1           | 0,07                           | 0,71                                   | 0,070                              | 0,711                                  |
| 1,2,3,7,8-ПеХДД                                        | 0,5         | 0,21                           | 2,30                                   | 0,107                              | 1,148                                  |
| 1,2,3,4,7,8-ГкХДД                                      | 0,1         | 0,11                           | 0,85                                   | 0,011                              | 0,085                                  |
| 1,2,3,6,7,8-ГкХДД                                      | 0,1         | 0,37                           | 1,01                                   | 0,037                              | 0,101                                  |
| 1,2,3,7,8,9-ГкХДД                                      | 0,1         | 1,47                           | 1,62                                   | 0,147                              | 0,162                                  |
| 1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД                                    | 0,01        | 0,73                           | 2,33                                   | 0,007                              | 0,023                                  |
| ОХДД                                                   | 0,001       | 3,34                           | 6,11                                   | 0,003                              | 0,006                                  |
| 2,3,7,8-ТХДФ                                           | 0,1         | 1,26                           | 10,8                                   | 0,126                              | 1,076                                  |
| 1,2,3,7,8-ПеХДФ                                        | 0,05        | 1,66                           | 14,1                                   | 0,083                              | 0,704                                  |
| 2,3,4,7,8-ПеХДФ                                        | 0,5         | 0,26                           | 10,5                                   | 0,132                              | 5,233                                  |
| 1,2,3,4,7,8-ГкХДФ                                      | 0,1         | 2,46                           | 14,8                                   | 0,246                              | 1,475                                  |
| 1,2,3,6,7,8-ГкХДФ                                      | 0,1         | 4,04                           | 13,8                                   | 0,404                              | 1,382                                  |
| 2,3,4,6,7,8-ГкХДФ                                      | 0,1         | 7,19                           | 7,67                                   | 0,719                              | 0,767                                  |
| 1,2,3,7,8,9-ГкХДФ                                      | 0,1         | 1,61                           | 2,14                                   | 0,161                              | 0,214                                  |
| 1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ                                    | 0,01        | 1,86                           | 16,3                                   | 0,019                              | 0,163                                  |
| 1,2,3,4,6,7,8,9-ГпХДФ                                  | 0,01        | 0,74                           | 2,42                                   | 0,007                              | 0,024                                  |
| ОХДФ                                                   | 0,001       | 9,20                           | 8,31                                   | 0,009                              | 0,008                                  |
| Предел определения по (13С12)<br>2,3,7,8-ТХДД, нг/кг** |             | 0,66                           | 0,16                                   | —                                  | —                                      |

\* ДЭ (I-TEF) — диоксиновые эквиваленты токсичности в соответствии с нормативными документами.

\*\* Предел определения по (13С12) 2,3,7,8-ТХДД (нг/кг) — границы относительной погрешности  $\pm\delta$  (%) при  $P = 0,95$ . Предел определения — количество вещества, которое обеспечивает отклик, отношение которого к фону составляет не менее 3:1 для каждого регистрируемого иона при условии выполнения основных требований к хромато-масс-спектрометрической идентификации (правильные время удерживания и изотопное соотношение). Расчет предела определения проводится для каждого из 17 индивидуальных ПХДД/ПХДФ.

Примечание. ОХДД — октахлордибензо-п-диоксин, ОХДФ — октахлордибензофуран.

**Таблица 2.** Суммарная массовая доля хлорзамещенных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (в пересчете на 2,3,7,8-ТХДД)

| Вид образца                                                  | Фактическое<br>эквивалентное<br>загрязнение, нгДЭ/кг | ПДК почвы, нг/кг [17] |      |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|------|
|                                                              |                                                      | ПХДД                  | ПХДФ |
| Почва с пожаров в жилых домах                                | 2,29                                                 | 5                     | 5    |
| Зола после сжигания горючей нагрузки в лабораторных условиях | 13,3                                                 |                       |      |

совых долях и в диоксиновом эквиваленте (в долях токсичности 2,3,7,8-ТХДД (I), принятой за единицу с учетом их массовой доли).

Для того чтобы объяснить присутствие в почве после пожаров в жилых деревянных домах диоксинов и дибензофуранов, в лабораторной установке были сожжены материалы, которые составляют горючую нагрузку жилых помещений. В образовавшейся золе методом ХМС также были найдены диоксины и дибензофураны (см. табл. 1).

Анализ данных табл. 2 показывает, что на расстоянии до 30 м от очага пожара при сгорании 1 кг горючей нагрузки жилых помещений в каждом килограмме почвы находилось приблизительно 17 % диоксинов. Это связано с тем, что летучесть диоксинов незначительна, хотя они способны в виде аэрозольных частиц переноситься воздушными массами.

Если принять массу выгоревшей горючей нагрузки на одном пожаре равной 40 кг/м<sup>2</sup>, а площадь пожара — 50–80 м<sup>2</sup>, то на пепелищах в золе может

присутствовать примерно от 26600 до 42560 нг диоксинов, а в почве около них — от 4580 до 7328 нг.

При этом в золе материалов, которые входят в горючую нагрузку помещений и были сожжены в лаборатории, количество диоксинов по ГН 2.1.7.3298–15 превышает ПДК почти в 3 раза [17]. В то же время по нормативам, действовавшим ранее, содержание диоксинов в образцах золы и почвы превышено соответственно в 40 и 7 раз (см. табл. 2) [18].

Все обнаруженные в золе и почве диоксины и дибензофураны имеют общие свойства: распространяются по воздуху, воде и пищевым цепям; накапливаются в экосистемах суши и водоемов из-за длительного периода полувыведения [13–15, 19]. В последнем они сходны с воздействием на организм радионуклидов и тяжелых металлов.

Наличие у диоксинов перечисленных свойств провоцирует нарушение у человека функций репродуктивной, гормональной, иммунной систем, развитие онкологических заболеваний, врожденных дефектов, нарушение развития [13–15, 19, 20].

В литературе имеются примеры, подтверждающие воздействие диоксинов на здоровье пожарных, принимавших участие в тушении крупных пожаров; достоверно доказано присутствие этих супертоксикантов в продуктах горения и в организме тушивших [21].

### Заключение

Постоянный контакт с диоксинами, сопровождающийся их бионакоплением в организме человека, даже при менее значительных разовых выбросах от пожаров в жилых домах по сравнению с крупными пожарами может стать причиной заболеваний среди населения и пожарных, а также их потомства.

В связи с этим важно отметить, что установление для диоксинов более “мягких” гигиенических нормативов (ГН 2.1.7.3298–15 [17]) может повысить фак-

тор риска для здоровья не только пожарных, но и населения. До обнаружения диоксинов в почвах при пожарах в жилых домах доказательства опасности этих событий для населения отсутствовали. В связи с этим можно сделать вывод, что без контроля качества почв и грунтов, воды из наземных и подземных водоисточников вблизи мест пожаров опасно осуществлять новую застройку этих территорий, а также употреблять в пищу сельскохозяйственные культуры, выращиваемые на почвах, загрязненных диоксинами.

Для защиты жизни и здоровья населения от воздействия диоксинов, поступающих в окружающую среду при пожарах, можно рекомендовать внесение в загрязненную почву растительного грунта с целью увеличить скорость ее самоочищения за счет повышения плодородия.

Кроме того, целесообразно разработать для пожарных персональные датчики для определения в организме единовременных и накопительных доз диоксинов и принятия своевременных мер по поддержанию их работоспособности и сохранению здоровья.

В целом проблема загрязнения сохраняет свою актуальность и требует дополнительного изучения распространения диоксинов и дибензофуранов в пространственных и временных координатах, с учетом того что в почве после пожаров в жилых домах найдены пентахлорзамещенный диоксин (1,2,3,7,8-ПeXДД), период полувыведения которого из организма составляет 15,7 лет, тогда так у самого токсичного 2,3,7,8-ТХДД — в среднем 7–10 лет [22].

Мониторинг факторов воздействия пожаров в жилых зданиях на окружающую среду дает возможность более точно оценить вред и риск эмиссии продуктов горения для жизни и здоровья населения и пожарных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об охране окружающей среды : Федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 29.12.2015) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — № 2, ст. 133.
2. Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 18.12.2012 № 2423-р. URL: <http://base.garant.ru/70169264/> (дата обращения: 04.04.2016).
3. Любич В. А., Попов Г. И. Социальное управление экологической безопасностью на муниципальном уровне (на примере Московской области). — М. : Права человека, 2007. — 40 с.
4. Захарова Г. С., Исаева Л. К., Подгруппный А. В., Соколов С. В. Роль пожарного мониторинга жилой застройки в обеспечении экологической безопасности населения // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2013. — № 1. — С. 42–49.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
6. Сайт Главного управления региональной безопасностью Московской области. URL: <http://gurb.mosreg.ru> (дата обращения: 02.04.2016).

7. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий : приказ МЧС РФ от 21.11.2008 № 714. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94531> (дата обращения: 05.04.2016).
8. Инструкция о порядке государственного статистического учета пожаров и последствий от них в Российской Федерации : Приложение 1 к приказу МВД России от 30.06.1994 № 332. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=LAW;dst=100018;n=4106;req=doc> (дата обращения: 06.04.2016).
9. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М. : Журнал “Россия Молодая”, 1994. — 367 с.
10. О признании утратившим силу нормативного правового акта МВД России : приказ МВД России от 23.12.2008 № 1133. URL: <http://base.garant.ru/195034/> (дата обращения: 11.04.2016).
11. Исаева Л. К. Экологические последствия пожаров : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2001. — 107 с.
12. Isaeva L. K., Vlasov A. G., Sulimenko V. A., Jakerson V. I. The pollution of atmosphere as a result in dwelling houses in Russia // 29<sup>th</sup> International Symposium on Combustion, Hokkaido University, July 21–26 2002. Work in Progress poster presentation of 29<sup>th</sup> Symposium, 2002. — P. 59.
13. Федоров Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. — М. : Наука, 1993. — 266 с.
14. Исаева Л. К. Пожары и окружающая среда. — М. : Калан, 2001. — 222 с.
15. Киселев А. В., Худoley В. В. Отравленные города. — М. : Гринпис, 1997. — 84 с.
16. ПНД Ф 16.1:2.2:3.56–2008. Методика измерений массовой доли полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов в почвах, грунтах, илах, донных отложениях, шламах, летучей золе методом хромато-масс-спектрометрии. URL: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/119VC.html> (дата обращения: 11.04.2016).
17. ГН 2.1.7.3298–15. Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-пара-диоксин и его аналоги) в почве населенных мест, сельскохозяйственных угодий и промышленной площадки : приложение к постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 15.09.2015 № 49. URL: <http://base.garant.ru/71212470/> (дата обращения: 11.04.2016).
18. Приказ МЗ СССР от 08.09.1986 № 697. ДСП. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/dioxin-pdk-rus.htm> (дата обращения: 11.04.2016).
19. Frank A. P. C. G., Schrap S. M. Bioaccumulation of some polychlorinated dibenzo-p-dioxins and octachlorodibenzofuran in the guppy (*Poeciliareticulata*) // Chemosphere. — 1990. — Vol. 20, No. 5. — P. 495–512. DOI: 10.1016/0045-6535(90)90107-5.
20. Yufit S. S. Is there any connection between the toxicity of polychlorinated polyaromatic compounds with their solubility in water // Organohalogen Compounds. — 1997. — Vol. 33. — P. 165–168.
21. Бударина Л. А. Оценка изменений биохимических показателей при формировании производственно-обусловленной патологии у пожарных : дис. ... канд. мед. наук. — Иркутск, 2008. — 132 с.
22. Flesch-Janys D. Elimination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in occupationally exposed persons // Journal of Toxicology and Environmental Health. — 1996. — Vol. 47. — P. 363–378. DOI: 10.1080/009841096161708.

*Материал поступил в редакцию 16 апреля 2016 г.*

**Для цитирования:** Исаева Л. К., Никитина Г. С., Сулименко В. А. Пожарная и экологическая безопасность жилых зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.19-26.

English

## FIRE AND ECOLOGICAL SAFETY OF RESIDENTIAL BUILDINGS

**ISAEVA L. K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Environmental Safety Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: ecolis@mail.ru)

**NIKITINA G. S.**, Postgraduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: gali555@yandex.ru)

**SULIMENKO V. A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of Educational-Scientific Complex Combustion Process and  
Environmental Safety, State Fire Academy of Emercom of Russia  
(Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation;  
e-mail address: sulimenko39@yandex.ru)

## ABSTRACT

This study examines the issue of ensuring environmental protection on fires in the residential buildings. The containment of soil with dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans associated with residential buildings fires was proven for the first time ever by using chromatography-mass spectrometric method.

Aggregate mass content of 2,3,7,8-chlorine-substitution dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in soil samples (equivalent to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxins) found near seats of fire in Moscow region amounts to 2.29 ng/kg and for the ashes of burnt combustible content of residential buildings it amounts to 13.3 ng/kg.

Dioxins and dibenzofurans can spread through air, water and food chains; to accumulate in living organisms, have a long half-life. In this they show similarities with the effects of radionuclides and heavy metals on terrestrial ecosystems and water bodies.

The accumulation of dioxins and dibenzofurans in human organism provoke the dysfunction of the reproductive, hormonal, immune systems, cancer, birth defects, impaired development.

The constant contact with dioxins can be the reason of diseases appearance among the population and fire fighters as well as their descendants even at less significant one time emission of such superecotoxicants during a fire in residential buildings in comparison with the large fire.

It is dangerous to make new building development of the territory as well as to eat cultures, being grown in the soil, polluted by dioxins without proper quality control of soils and grounds as well as to use water from ground and underground water sources near the places where have been fires.

To protect human life and health from the effects of dioxins entering the environment with soil fires one may recommend adding vegetable soil in it to increase fertility.

Furthermore it is reasonable to develop individual sensors for firemen to determine nonrecurring and accumulative doses of dioxins in the body and to take timely measures for maintaining their performance capabilities and health preservation.

Therefore, the problem of identifying, monitoring and mitigating the factors of fire effects on a person and his living environment remains a critical challenge.

**Keywords:** ecological safety; fire safety; fires of residential buildings, dead and injured in the fires; the toxicity of polychlorinated dioxins and dibenzofurans; gas chromatography-mass spectrometry; soil pollution.

## REFERENCES

1. About environmental protection. Federal law on 10.01.2002 No. 7. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2002, no. 2, art. 133 (in Russian).
2. *Basics of the state policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030*. Resolution of the RF Government on 18.12.2012 No. 2423-r. Available at: <http://base.garant.ru/70169264/> (Accessed 4 April 2016).
3. Lubich V. A., Popov G. I. *Sotsialnoye upravleniye ekologicheskoy bezopasnostyu na munitsipalnom urovne (na primere Moskovskoy oblasti)* [Social management of environmental safety at the municipal level (in the example of the Moscow region)]. Moscow, Prava cheloveka Publ., 2007. 40 p.
4. Zakharova G. S., Isaeva L. K., Podgrushny A. V., Sokolov S. V. Rol pozharnogo monitoringa zhiloy zastroyki v obespechenii ekologicheskoy bezopasnosti naseleniya [The role of fire in monitoring the housing for ensuring environmental safety of the population]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2013, no. 1, pp. 42–49.
5. Matyushin A. V. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2014 godu. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2014. Statistical yearbook]. Moscow, 2015. 124 p.
6. Site of General Directorate of the regional security of the Moscow region. Available at: <http://gurb.mosreg.ru> (Accessed 2 April 2016) (in Russian).
7. *About the statement of the Order of the accounting of the fires and their consequences*. The order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation on 21.11.2008 No. 714. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94531> (Accessed 5 April 2016) (in Russian).

8. *Instruction on the procedure of state statistical reporting fires and their consequences in the Russian Federation*. Annex 1 to the Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia on 30.06.1994 No. 332. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=LAW;dst=100018;n=4106;req=doc> (Accessed 6 April 2016) (in Russian).
9. Reimers N. F. *Ekologiya (teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy)* [Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)]. Moscow, Journal "Young Russia" Publ., 1994. 367 p.
10. *On the recognition of a regulatory legal act of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation as invalid*. The order of the Ministry of Internal Affairs of Russia on 23.12.2008 No. 1133. Available at: <http://base.garant.ru/195034/> (Accessed 11 April 2016) (in Russian).
11. Isaeva L. K. *Ekologicheskiye posledstviya pozharov. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Environmental effects of fires. Dr. techn. sci. diss.]. Moscow, 2001. 107 p.
12. Isaeva L. K., Vlasov A. G., Sulimenko V. A., Jakerson V. I. The pollution of atmosphere as a result in dwelling houses in Russia. 29<sup>th</sup> *International Symposium on Combustion*, Hokkaido University, July 21–26 2002. Work in Progress poster presentation of 29<sup>th</sup> Symposium, 2002, p. 59.
13. Fedorov L. A. *Dioksiny kak ekologicheskaya opasnost: retrospektiva i perspektivy* [Dioxins as a ecological danger: retrospective and perspective]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 266 p.
14. Isaeva L. K. *Pozhary i okruzhayushchaya sreda* [Fires and environment]. Moscow, Kalan Publ., 2001. 222 p.
15. Kiselev A. V., Khudoley V. V. *Otravlenyye goroda* [Poisoned city]. Moscow, Greenpeace Publ., 1997. 84 p.
16. PND F 16.1:2.2:3.56–2008. Methods of measurement of the mass fraction of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in soils, sludges, sediments, sludge, fly ash by gas chromatography-mass spectrometry. Available at: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/119VC.html> (Accessed 11 April 2016) (in Russian).
17. Hygienic standards 2.1.7.3298–15. Approximate allowable concentration (MAC) of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (in terms of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and its analogues) in the soil of populated areas, agricultural land and industrial sites. Available at: <http://base.garant.ru/71212470/> (Accessed 11 April 2016) (in Russian).
18. Order of Ministry of Health of the USSR on 08.09.1986 No. 697. Available at: <http://www.dioxin.ru/doc/dioxin-pdk-rus.htm> (Accessed 11 April 2016) (in Russian).
19. Frank A. P. C. G., Schrap S. M. Bioaccumulation of some polychlorinated dibenzo-p-dioxins and octachlorodibenzofuran in the guppy (*Poeciliareticulata*). *Chemosphere*, 1990, vol. 20, no. 5, pp. 495–512. DOI: 10.1016/0045-6535(90)90107-5.
20. Yufit S. S. Is there any connection between the toxicity of polychlorinated polyaromatic compounds with their solubility in water. *Organohalogen Compounds*, 1997, vol. 33, pp. 165–168.
21. Budarina L. A. *Otsenka izmeneniy biokhimicheskikh pokazateley pri formirovanii proizvodstvenno-obuslovlennoy patologii u pozharnykh. Dis. kand. med. nauk* [Evaluation of changes of biochemical parameters in the formation of production-induced pathology in fire. Cand. med. sci. diss.]. Irkutsk, 2008. 132 p.
22. Flesch-Janys D. Elimination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in occupationally exposed persons. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1996, vol. 47, pp. 363–378. DOI: 10.1080/009841096161708.

**For citation:** Isaeva L. K., Nikitina G. S., Sulimenko V. A. Pozharnaya i ekologicheskaya bezopasnost zhilykh zdaniy [Fire and ecological safety of residential buildings]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.19-26.

**И. К. БАКИРОВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры “Пожарная и промышленная безопасность”, Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: bakirovirek@bk.ru)

**А. А. БЕЛОУСОВА**, студент, Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

УДК 614.841.3(470.57)

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Рассмотрен один из важных вопросов противопожарной безопасности — обеспечение противопожарной защиты населенного пункта в Республике Башкортостан. Проведен анализ противопожарного состояния Кугарчинского района, необходимости дислокации пожарных депо; выполнен расчет количества сил и средств для обеспечения противопожарной защиты района. Определена пространственная зона возможного размещения пожарного депо. Показано, что результаты расчетов по дислокации пожарного депо можно использовать при разработке республиканских и российских целевых программ для инвестиций.

**Ключевые слова:** пожарное депо; пространственная зона защиты; место дислокации; необходимое время эвакуации; системы противопожарной защиты; пожарная безопасность; нормативные требования пожарной безопасности; время прибытия пожарной охраны; зона обслуживания пожарного депо; технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.27-32

Надежное обеспечение противопожарной защиты объектов в сельской местности осложняется удаленностью пожарных депо. Немалая часть объектов остается не защищенной системами активной и пассивной противопожарной защиты. Именно позднее прибытие пожарной охраны на пожар, отсутствие пожарной сигнализации или системы оповещения являются главными причинами большого ущерба или гибели людей при пожаре.

После принятия в 2009 г. Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [1] (далее — Технический регламент) стали применяться требования по размещению частей пожарной охраны. Дислокация подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяется исходя из условия прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не позднее чем через 10 мин, в сельских поселениях — 20 мин [2].

В ряде стран мира уже несколько десятилетий существуют нормативы организации противопожарной службы (далее — ППС), связанные, как правило, с временем прибытия подразделений ППС к месту пожара [3–5] (табл. 1).

В США время прибытия составляет 5–6 мин для районов с высоким уровнем пожарной опасности,

9–14 мин — для сельской местности (в 80 % случаев). Для удаленных районов время прибытия не регламентируется [6].

Заметим, что в России до принятия Технического регламента [1] подобных нормативов не существовало, было только понятие — радиус обслуживания пожарного депо.

Страны, приведенные в табл. 1, имеют относительно небольшие территории, прекрасные дороги, хорошие климатические условия. Сельские поселения в них практически не отличаются от городских, а расстояния между ними небольшие.

Ничего из перечисленного в России нет, поэтому можно предположить, что нормативные требования ст. 76 Технического регламента [1] по дисло-

**Таблица 1.** Нормативное время прибытия пожарной охраны в некоторых странах Европы

| Страна   | Время прибытия ППС, мин, не более |                      |
|----------|-----------------------------------|----------------------|
|          | в городах                         | в сельской местности |
| Франция  | 10                                | 20                   |
| Ирландия | 10                                | 20                   |
| Дания    | 10                                | 15                   |
| Греция   | 10                                | 30                   |

кации пожарных депо в нашей стране выполнить невозможно (добавим, что и в Европе от них постепенно отказываются из-за их жесткости). Во всяком случае, необходимо провести специальные исследования для проверки возможности выполнения указанных нормативов в России. Да и без исследований понятно, что выполнение требований Технического регламента по обеспечению пожарными депо населенных пунктов, особенно отдаленных, в ближайшие 10-летия невозможно. Не зря в США — стране, более близкой по сравнению с перечисленными выше европейскими странами к российским условиям в отношении дорог, населенных пунктов и площади территории, нормативы более гибкие и больше приближены к жизненным условиям [3–5].

Возможным решением проблемы может быть увеличение числа пунктов дислокации пожарных депо. Однако вопрос, сколько их должно быть в городе для успешной борьбы с пожарами, остается предметом споров ученых-специалистов. Может быть, именно поэтому существующие нормативы по организации ППС в городах, мягко выражаясь, необоснованны [6].

СП 11.13130.2009 “Места дислокации пожарного депо” [7] является нормативным документом по пожарной безопасности добровольного применения. Это означает, что если рассчитанный пожарный риск не превысит допустимое значение, то требования [7] можно не соблюдать в соответствии со ст. 6 Технического регламента [1]. Места дислокации пожарных депо определяются на основании расчета допустимого расстояния от объекта до пожарного депо, установления пространственных зон размещения пожарных депо для каждого объекта предполагаемого пожара и областей пересечения указанных пространственных зон [6, 8].

Проанализируем пожарную опасность Кугарчинского района, расположенного в южной части Республики Башкортостан (далее — РБ). Административно район разделен на 21 сельское поселение, включает 113 населенных пунктов, в которых насчитывается около 13380 домов. Население по данным Всероссийской переписи 2010 г. составляет 31435 чел. Основной отраслью производства в районе является сельское хозяйство [9].

Объекты Кугарчинского района РБ охраняются пожарной частью № 84 (ПЧ-84) 11-го отряда Федеральной противопожарной службы по РБ с отдельными постами ПЧ-84, отделением надзорной деятельности, добровольными пожарными командами (далее — ДПК) и добровольными пожарными дружинами.

Приняв время прибытия первого подразделения на пожар в сельской местности не более 20 мин и среднюю скорость движения пожарного автомоби-

ля 40 км/ч, определяли зону защиты сельских поселений Кугарчинского района. Было установлено, что, для того чтобы все сельские поселения района находились в зоне защиты, необходимо построить еще 9 пожарных депо.

Было рассчитано также предельно допустимое расстояние до объекта защиты на примере д. Нукаево Кугарчинского района. Для одноэтажного частного жилого строения определены цели выезда № 1 и № 2 согласно СП 11.13130.2009 [7]. Затем рассчитывали максимально допустимое расстояние от объекта предполагаемого пожара до ближайшего пожарного депо  $l_i$  (км) для каждой из рассматриваемых целей и соответствующих схем развития пожара в случае горения твердых веществ и материалов.

По результатам вычислений для достижения цели № 1 выезда подразделений  $l_1 = 12,1$  км, цели № 2 —  $l_2 = 14$  км. Из этого следует, что наименьшее предельно допустимое расстояние для одноэтажной деревянной постройки составит 12,1 км [7].

Для общеобразовательной школы была определена цель выезда № 3, как для объекта с массовым пребыванием людей. Рассчитано предельно допустимое расстояние от пожарного депо до школы  $l_3$  для случая горения твердых веществ и материалов на площади в виде полосы с постоянной шириной горения. Для этого сначала рассчитывали необходимое время эвакуации для общеобразовательной школы [10, 11].

Необходимое время эвакуации людей  $t_{н.б}$  (мин) из помещения, которое определяли по потере видимости при пожаре, получилось равным 106,4 с (или 1,8 мин). Предельное расстояние для реализации цели № 3  $l_3 = 11,8$  км.

Для приведения в соответствие с нормативными документами противопожарной защиты Кугарчинского района РБ необходимо выполнить следующие мероприятия:

1) построить 14 пожарных депо (4 на базе ДПК и 9 новых). Ориентировочная цена под ключ одного пожарного депо на 1 пожарный автомобиль — 3,2 млн. руб. Общая сумма — 44,8 млн. руб. [12];

2) закупить 9 пожарных автомобилей для проектируемых пожарных депо. Ориентировочная цена одного пожарного автомобиля АЦ 5,0-40 КамАЗ 43114-1014-15 (на 3 места) — 2,8 млн. руб. Общая сумма — около 25 млн. руб. [13];

3) произвести ремонт 20 неисправных пожарных гидрантов. Цена ремонта одного гидранта — около 5 тыс. руб. Общая сумма — ориентировочно 100 тыс. руб.;

4) оборудовать водоемы 11 пирсами. Средняя цена строительства одного пирса — около 250 тыс. руб. Общая сумма — 2,75 млн. руб. [14];

**Таблица 2.** Расходы на предлагаемые мероприятия по совершенствованию противопожарной защиты Кугарчинского района

| Населенный пункт                                                                                              | Предлагаемое мероприятие (покупка, строительство) | Стоимость, млн. руб. | Эксплуатационные расходы за 10 лет, млн. руб. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| Нукаево                                                                                                       | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Худайбердино                                                                                                  | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Аралбаево                                                                                                     | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Сюрень                                                                                                        | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Юлдыбаево                                                                                                     | Пожарное депо (2-е)                               | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Исимово                                                                                                       | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Мукачево                                                                                                      | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Давлеткулово                                                                                                  | Пожарное депо (2-е)                               | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Воскресенское                                                                                                 | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 11,92                                         |
|                                                                                                               | Пожарный автомобиль                               | 2,8                  |                                               |
| Побоище                                                                                                       | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 2                                             |
| Юлдыбаево                                                                                                     | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 2                                             |
| Максютово                                                                                                     | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 2                                             |
| Волостновка                                                                                                   | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 2                                             |
| Нижнебиккузино                                                                                                | Пожарное депо                                     | 3,2                  | 2                                             |
| Расходы для основных видов противопожарной защиты по Кугарчинскому району (кроме строительства пожарных депо) | СОУЭ и АУПС (на 97 объектов)                      | 9,7                  | 4,85                                          |
|                                                                                                               | Строительство 11 пирсов                           | 2,75                 | 1                                             |
|                                                                                                               | Ремонт 20 гидрантов                               | 0,1                  | 0,1                                           |
|                                                                                                               | Огнезащитная обработка (2 раза):                  |                      |                                               |
|                                                                                                               | – 25 жилых многоквартирных домов                  | 19,6                 | –                                             |
|                                                                                                               | – 125 объектов различного назначения              | 12,6                 | –                                             |
| <b>Итого</b>                                                                                                  |                                                   | <b>238</b>           |                                               |

5) оборудовать 97 объектов системами оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) и автоматической пожарной сигнализацией (АПС). Примерная средняя стоимость покупки и монтажа АПС и СОУЭ на один объект — 100 тыс. руб. Общая сумма — ориентировочно 9,7 млн. руб. [15];

6) обработать огнезащитным покрытием 125 объектов различного назначения и 25 жилых многоквартирных домов. Общая сумма, необходимая для огнезащитной обработки 18 000 м<sup>2</sup>, — 12,6 млн. руб.

Таким образом, ориентировочная стоимость совершенствования противопожарной защиты Кугарчинского района составит 105 млн. руб. без учета эксплуатационных расходов (на содержание пожарных депо и т. д.).

Расходы на предлагаемые мероприятия представляют собой сумму затрат на покупку, монтаж, строительство и эксплуатацию в течение определенного времени.

Рассчитаем расходы на предлагаемые мероприятия, связанные со строительством и содержанием пожарных депо, покупкой и эксплуатацией пожарных автомобилей, содержанием личного состава, за 10 лет. Расходы на каждое предлагаемое мероприятие представлены в табл. 2.

### Вывод

Результаты расчетов по дислокации пожарных депо можно было бы использовать при разработке республиканской и российской целевой программы “Пожарная безопасность” для инвестиций в укрепление пожарной безопасности Кугарчинского района Республики Башкортостан.

Ориентировочная общая сумма, необходимая на выполнение всех мероприятий в соответствии с нормативными требованиями Российской Федерации по дислокации пожарных депо относительно объектов в Кугарчинском районе РБ, составляет около 238 млн. руб. В Республике Башкортостан почти все районы имеют расхождение с требуемыми нормами по дислокации пожарных депо. Предполагаем, что в целом по России таких субъектов, в которых дислокация пожарных депо не соответствует требуемым нормам, огромное количество. Решение этой проблемы требует больших финансовых вложений, и в основном из федерального бюджета. Невольно возникает вопрос: надо ли было принимать такие “оторванные” от жизни нормы, которые даже за 10–20 лет достичь будет невозможно? Пока же мы добиваемся только того, что люди на такие расчеты и требования норм не обращают внимания. Более того, они как имели “привычку” не соблюдать нормы, так и продолжают закреплять эту вредную для нашего общества “традицию”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Бакиров И. К., Султанов Р. М. Дислокация пожарного депо на объектах нефтегазовой отрасли // Нефтегазовое дело. — 2013. — Т. 11, № 4. — С. 171–174.
3. Tauber James G. Pre-emergency deployment of fire department resources: a call to action // Fire Engineering. — 2000. — Vol. 153, Issue 10. — P. 12–13. URL: <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-153/issue-10/features/pre-emergency-deployment-of-fire-department-resources-a-call-to-action.html> (дата обращения: 10.03.2016).
4. Fire Service Deployment: Assessing Community Vulnerability–2011. The report of Metropolitan Fire Chiefs Association. URL: <http://www.yumpu.com/en/document/view/11706203/fire-service-deployment-assessing-community-vulnerability> (дата обращения: 10.03.2016).
5. Johnson Jerald L. A procedure for evaluation of fire station locations and deployment executive development. — California, West Covina : City of West Covina Fire Department, 1999. — 65 p.
6. Бакиров И. К. Что надо сделать, чтобы эффективно проверять объекты в области пожарной безопасности // Пожарная безопасность в строительстве. — Август 2011. — № 4. — С. 44–46.
7. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. — Введ. 01.05.2009. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009.
8. Бакиров И. К. Нормативные документы и проблемы в области пожарной безопасности на производственных объектах в РБ // Промбезопасность — Приуралье. — Октябрь 2012. — № 10(41). — С. 14–17.
9. Сайт Кугарчинской централизованной библиотечной системы. URL: [http://kuglib.ru/load/rodnoj\\_nash\\_kraj/nash\\_rajon/kugarchinskij\\_rajon/47-1-0-542](http://kuglib.ru/load/rodnoj_nash_kraj/nash_rajon/kugarchinskij_rajon/47-1-0-542) (дата обращения: 13.01.2016).
10. Собоурь С. В. Пожарная безопасность общественных и жилых зданий : справочник / Под ред. Е. А. Мешалкина. — 2-е изд., доп. (с изм.). — М. : ПожКнига, 2004. — 224 с.
11. Бакиров И. К. Разработка метода оценки пожарных рисков твердых горючих веществ и материалов на производственных и складских объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 35–41.
12. Цена строительства пожарного депо. URL: <http://www.realtyestate.ru/mettem/catalog/social/Pozharnoe-depo-na-1-post.html#.UaciMaJSiYE> (дата обращения: 19.02.2016).
13. Цена на пожарные автомобили. URL: <http://www.delovoigorod.ru/ufa/info/pozharnie-avtomobilitseni-na-bazovie-komplektatsii-7333> (дата обращения: 18.02.2016).
14. Строительство причалов и пирсов. Технологии и стоимость. URL: <http://goodboating.ru/stroitelstvo-prichalov-i-pirsov-tehnologii-i-stoimost> (дата обращения: 29.11.2015).
15. Цены на АПС и СОУЭ. URL: <http://delta-aps.ru/raschyot-montazha-aps> (дата обращения: 29.11.2015).

*Материал поступил в редакцию 7 апреля 2016 г.*

**Для цитирования:** Бакиров И. К., Белоусова А. А. О совершенствовании противопожарной защиты территории населенного пункта в Республике Башкортостан // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 27–32. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.27-32.

English

## ABOUT IMPROVEMENT OF FIRE-PREVENTION PROTECTION OF THE TERRITORY OF THE SETTLEMENT IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

**BAKIROV I. K.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russian Federation; e-mail address: bakirovirek@bk.ru)

**BELOUSOVA A. A.**, Student, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

## ABSTRACT

Fire safety problem is becoming more acute in a modern world due to the rapid technological progress. Unskillful using of household appliances, electrical equipment and a variety of innovative technologies often lead to occurrence of fire. That's why the reliable supply of fire protection facilities is an important indicator in the field of fire safety.

One of the factors, providing adequate fire safety is the correct placement of the fire stations.

The analysis of the major factors influencing timely arrival of fire guard to the place of the fire is made: the space occupied by these countries, states and extents of roads, climatic conditions. Comparison of these conditions in the developed countries and in Russia is executed. The conclusion is drawn that the existing new standard requirements for dislocation of the fire stations in our country can't be executed.

Today in the Republic of Bashkortostan, as well as in Russia, there is a huge number of settlements in which the location of the fire stations doesn't meet the required standards specified in normative documents.

Non-compliance with norms of placement of fire stations is one of important causes of death of people and causing material damage from the fires. On the example of the Kugarchinsky district of the Republic of Bashkortostan in which the analysis of its fire danger is carried out and the most admissible distance to object of protection is calculated, discrepancy of an arrangement and the number of fire stations with the required norms is shown.

In this regard it is offered to hold a number of events for improvement of fire-prevention protection of the settlement. It is established that the offered actions represent the sum of costs of purchase, installation, construction of fire stations and their operation during certain time.

Expenses on the offered actions connected with construction and the maintenance of the fire stations, purchase and operation of the fire truck, the maintenance of staff in 10 years are calculated. The approximate sum necessary on all actions for observance of the existing standard requirements for dislocation of the fire station in the Kugarchinsky district of the Republic of Bashkortostan has made about 238 million rubles.

**Keywords:** fire station; spatial zone of protection; dislocation place; necessary time of evacuation; fire protection system; fire safety; fire safety regulations; arrival time of fire guard; service area of the fire station; technical regulations on fire safety requirements.

## REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. Bakirov I. K., Sultanov R. M. Dislokatsiya pozharnogo depo na ob'yektakh neftegazovoy otrasli [The deployment of the fire station at the oil and gas facilities]. *Neftegazovoye delo — Oil and Gas Business*, 2013, vol. 11, no. 4, pp. 171–174.
3. Tauber James G. Pre-emergency deployment of fire department resources: a call to action. *Fire Engineering*, 2000, vol. 153, issue 10, pp. 12–13. Available at: <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-153/issue-10/features/pre-emergency-deployment-of-fire-department-resources-a-call-to-action.html> (Accessed 10 March 2016).
4. *Fire Service Deployment: Assessing Community Vulnerability–2011. The report of Metropolitan Fire Chiefs Association*. Available at: <http://www.yumpu.com/en/document/view/11706203/fire-service-deployment-assessing-community-vulnerability> (Accessed 10 March 2016).
5. Johnson Jerald L. *A procedure for evaluation of fire station locations and deployment executive development*. California, West Covina, City of West Covina Fire Department, 1999. 65 p.
6. Bakirov I. K. Chto nado sdelat, chtoby effektivno proveryat ob'yekty v oblasti pozharnoy bezopasnosti [What should be done to effectively test the objects in the field of fire safety]. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve — Fire Safety in Construction*, August 2011, no. 4, pp. 44–46.
7. *Set of rules 11.13130.2009. Places of a dislocation of divisions of fire protection*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
8. Bakirov I. K. Normativnyye dokumenty i problemy v oblasti pozharnoy bezopasnosti na proizvodstvennykh ob'yektakh v RB [Regulatory documents and issues in the field of fire safety at production facilities in the Republic of Belarus]. *Prombezopasnost – Priuralye — Safety – Urals*, October 2012, no. 10(41), pp. 14–17.

9. Website of the Kugarchinsky centralized library system. Available at: [http://kuglib.ru/load/rodnoj\\_nash\\_kraj/nash\\_rajon/kugarchinskij\\_rajon/47-1-0-542](http://kuglib.ru/load/rodnoj_nash_kraj/nash_rajon/kugarchinskij_rajon/47-1-0-542) (Accessed 13 January 2016) (in Russian).
10. Sobur V. S., Meshalkin E. A. (ed.). *Pozharnaya bezopasnost obshchestvennykh i zhilykh zdaniy. Spravochnik* [Fire safety of public and residential buildings. Handbook]. Moscow, PozhKniga Publ., 2004. 224 p.
11. Bakirov I. K. Razrabotka metoda otsenki pozharnykh riskov tverdykh goryuchikh veshchestv i materialov na proizvodstvennykh i skladskikh ob'yektakh [Working of the evaluation method of fire risks of solid combustible substances and materials of manufacturing and storage facilities]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 35–41.
12. Price of construction of the fire station. Available at: <http://www.realtyestate.ru/mettem/catalog/social/Pozharnoe-depo-na-1-post.html#.UaciMaJSiYE> (Accessed 19 February 2016) (in Russian).
13. Price of fire trucks. Available at: <http://www.delovoigorod.ru/ufa/info/pozharnie-avtomobili-tseni-na-bazovie-komplektatsii-7333> (Accessed 18 February 2016) (in Russian).
14. Construction of moorings and piers. Technologies and cost. Available at: <http://goodboating.ru/stroitelstvo-prichalov-i-pirsov-tehnologii-i-stoimost> (Accessed 29 November 2015) (in Russian).
15. *Prices of automatic fire alarm and system of annunciation and management of human evacuation at fire.* Available at: <http://delta-aps.ru/raschyot-montazha-aps> (Accessed 29 November 2015) (in Russian).

**For citation:** Bakirov I. K., Belousova A. A. O sovershenstvovanii protivopozharnoy zashchity territorii naselennogo punkta v Respublike Bashkortostan [About improvement of fire-prevention protection of the territory of the settlement in the Republic of Bashkortostan]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 27–32. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.27-32.



## ПОЖАРНЫЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОТПРАВКИ SMS

Автономные пожарные извещатели являются отличным способом информирования о начинающемся пожаре. Они спасли множество жизней, однако беда в том, что в случае вашего отсутствия дома сигнал извещателя при самом хорошем стечении обстоятельств заставит беспокоиться только вашего бдительного соседа сверху или снизу.

Этого недостатка лишен пожарный извещатель Fire Text Smoke Alarm, который сможет предупредить вас о зарождающемся пожаре везде, где есть сигнал сотовой сети. Устройство позволяет установить SIM-карту GSM-оператора сотовой связи и задать 4 номера, на которые будут отправляться SMS в случае пожара. Так что кто-то из этой четверки наверняка сможет вызвать пожарных.

Размеры Fire Text Smoke Alarm составляют 11,5 см (диаметр) x 4,7 см (высота), а весит он 201 г. Главное, чтобы деньги, которые стоит этот девайс, были потрачены всего один раз и до покупки второго такого устройства дело никогда не дошло.

<http://onegadget.ru/tag/пожар>

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

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

**М. П. ГРИГОРЬЕВА**, инженер, научный сотрудник Научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: margarita\_theone@mail.ru)

УДК 614.8(100)“20”

## О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ И ОСОБЕННОСТЯХ РОССИЙСКОЙ ПОЖАРНОЙ СТАТИСТИКИ

Показано, что развитие пожарной статистики во многих странах мира дает хороший импульс для совершенствования отечественной пожарной статистики. Представлены результаты исследования некоторых закономерностей в российской пожарной статистике. Исследована динамика изменения числа пожаров и загораний, ущерба от одного пожара и временных характеристик оперативной деятельности пожарных подразделений в России за период 2009–2015 гг. Показано, что несмотря на существенное снижение числа пожаров, сокращение времени прибытия к месту пожаров и времени их тушения ущерб от пожаров растет как в городах, так и в сельской местности.

**Ключевые слова:** пожар; загорание; ущерб от пожара; пожарная статистика; временные характеристики.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38

### Пожары и загорания

В отечественной пожарной статистике различают пожары, которые входят в государственную отчетность о пожарах, и загорания, которые такому учету не подлежат. При этом под пожаром понимают неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства, а к загораниям относят неконтролируемое горение, не причиняющее никакого ущерба и вреда [1].

В табл. 1 приведены сведения о пожарах и загораниях в Российской Федерации за период 2009–2015 гг. Данные, представленные в табл. 1, графически отображены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что число пожаров в России за 2009–2015 гг. монотонно убывает, а число загораний от года к году колеблется случайным образом (как и должно быть в природе). Среднее число пожаров за

7 лет составляет 164 343, а среднее число суммы пожаров и загораний — 521 938. Заметим, что в СССР число пожаров, подлежащих включению в государственную отчетность (с ущербом свыше 50 руб.), составляло 35,7 % от общего числа пожаров (всего в 1990 г. было зафиксировано 467 542 пожара, из которых 166 738 подлежали госучету) [2]. Отсюда следует, что ситуация с пожарами в 1990 г. в СССР была практически такой же, как и в Российской Федерации в 2009–2015 гг., но население в СССР было в 2 раза больше, чем в России (в указанные годы).

Наконец, полезно иметь в виду, что в большинстве стран мира учитывают все пожары, как с ущербом, так и без ущерба, например в США доля последних составляет 34,5 % [3–6].

Сравнительный анализ показал, что в США ежегодно фиксируют около 1,3 млн. пожаров (на 320 млн. чел.), а в России только 150 тыс. (на 145 млн. чел.),

**Таблица 1.** Число пожаров и загораний в России в 2009–2015 гг.

| Показатель                          | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | Среднее число за 7 лет |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------|
| Число пожаров                       | 187 571 | 179 533 | 168 533 | 162 919 | 153 466 | 152 695 | 145 686 | 164 343                |
| Число загораний                     | 332 265 | 419 405 | 323 687 | 339 084 | 276 485 | 436 958 | 385 696 | 359 084                |
| Суммарное число пожаров и загораний | 519 836 | 595 002 | 492 220 | 502 003 | 429 951 | 583 170 | 531 382 | 521 938                |

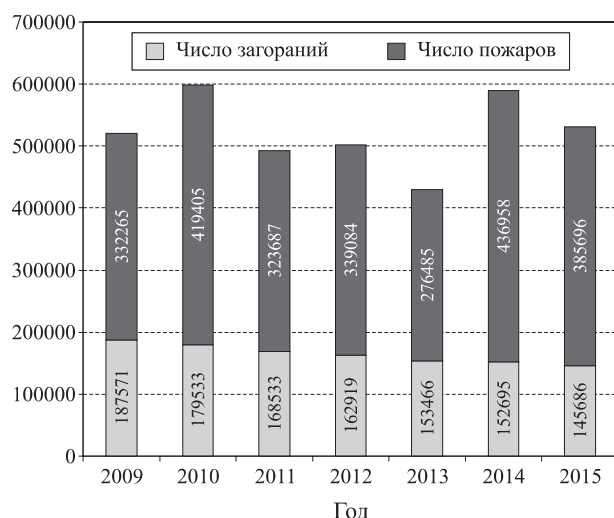


Рис. 1. Изменение числа пожаров и загораний в целом по России за период 2009–2015 гг.

и это число непрерывно уменьшается [4, 5]. Легко подсчитать, через сколько лет число пожаров в России может снизиться до 50, 40 тыс. и т. д. пожаров в год. Относительно загораний такой прогноз сделать невозможно.

### Ущерб от одного пожара в городах и сельской местности

В 2015 г. в России насчитывалось 146,5 млн. чел., из них 26 % проживало в сельской местности. В том же году в России было зарегистрировано 145 686 пожаров, из них 86 469 (или 59,4 % всех пожаров) — в городах и 59 217 (или 40,6 %) — в сельской местности. При пожарах погибло всего 9377 чел., из них 4543 чел. (или 48,4 % всех жертв пожаров) — в городах и 4834 чел. (или 51,6 %) — в сельской местности [7].

Таким образом, в сельской местности России проживало чуть больше 25 % ее населения, на которые приходилось более 40 % всех пожаров в стране и более половины всех жертв пожаров. Отсюда следует, что обстановка с пожарами в сельской местности России в 2015 г. была намного хуже, чем в городах (эта ситуация справедлива для последних десятилетий).

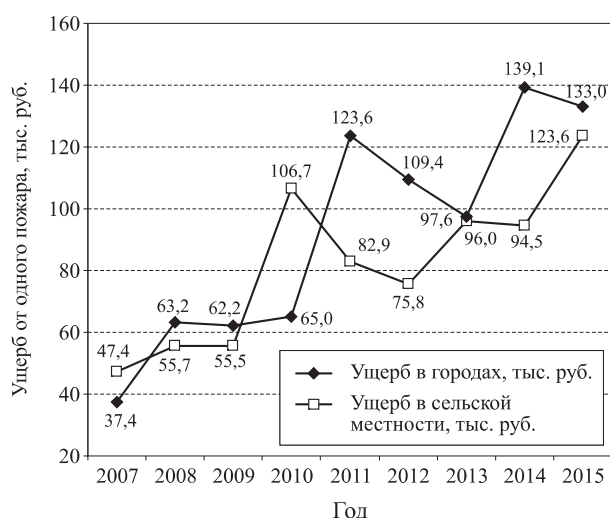


Рис. 2. Изменение среднего ущерба от одного пожара в городах и сельской местности за период 2007–2015 гг.

Известно, что уровень жизни в городах нашей страны выше, чем в сельской местности. Возникает вопрос, а как обстоит дело с ущербом от пожаров в городах и сельской местности в России? Проведем сравнительный анализ ущерба от одного пожара и динамику его изменения за 2007–2015 гг. (табл. 2) [8, 9].

Из табл. 2 следует, что “стоимость” одного пожара в сельской местности мало отличается от “стоимости” городского пожара — в среднем менее чем на 10 %. Добавим к этой интересной информации графики динамики изменения ущерба от одного пожара в городах и сельской местности (рис. 2).

Из рис. 2 видим, что “стоимость” одного пожара и в городах, и в сельской местности за 2007–2015 гг. (9 лет) сильно выросла — почти в 4 раза в городах и примерно в 2,5 раза в сельской местности (в России в целом “стоимость” одного пожара за эти годы увеличилась более чем в 3 раза).

И здесь возникает еще один вопрос, какова динамика изменения основных временных характеристик деятельности пожарной службы страны за 2007–2015 гг. Может быть, они заметно улучшились? Проверим этот фактор.

Таблица 2. Изменение среднего ущерба от одного пожара в городах и сельской местности за 2007–2015 гг.

| Показатель                                                                       | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ущерб в целом по России, тыс. руб.                                               | 40,9    | 60,5    | 59,7    | 81,1    | 108,0   | 96,3    | 97,0    | 121,0   | 129,1   |
| Ущерб в городах, тыс. руб.                                                       | 37,4    | 63,2    | 62,2    | 65,0    | 123,6   | 109,4   | 97,6    | 139,1   | 133,0   |
| Ущерб в сельской местности, тыс. руб.                                            | 47,4    | 55,7    | 55,5    | 106,7   | 82,9    | 75,8    | 96,0    | 94,5    | 123,6   |
| Разница ущерба при пожарах в сельской местности относительно ущерба в городах, % | +26,7   | –11,9   | –10,8   | +64,2   | –32,9   | –31,7   | –1,6    | –32,1   | –7,1    |

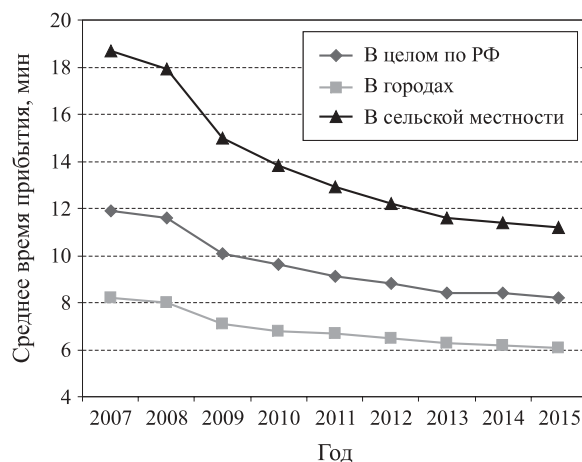
### О динамике изменения временных характеристик деятельности пожарной службы

Основными временными характеристиками оперативной деятельности пожарной охраны в данном случае являются прежде всего время прибытия первых пожарных автомобилей к месту пожара и время тушения пожара. Элементарная логика здесь такова: чем быстрее придут к месту пожара подразделения пожарной службы, тем в меньшей степени, как правило, успеет развиваться пожар и тем быстрее пожарные смогут его потушить, а значит, и ущерб от пожара будет меньше. Итак, если время прибытия и время тушения пожара сократятся, то ущерб от него, в принципе, тоже должен снизиться. В противном случае ситуация на пожаре будет иной, и ущерб от него будет расти. Этот факт мы и попробуем проверить.

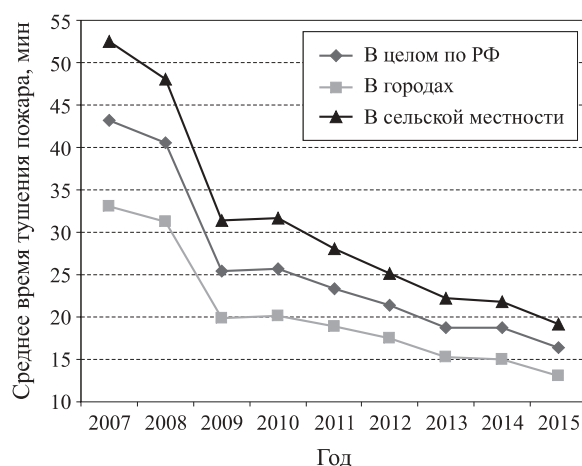
В табл. 3 представлена динамика снижения времени прибытия первых пожарных подразделений по России в целом, а также в городах и сельской местности за период 2007–2015 гг. [8, 9].

Из табл. 3 и рис. 3 видим, что время прибытия пожарных подразделений к месту пожара и по России в целом, и в городах, и в сельской местности за 2007–2015 гг. монотонно уменьшается (в целом по России — на 30 %, в городах — на 25 %, в сельской местности — на 39 %). Эти “великолепные” результаты, достигнутые Государственной противопожарной службой за последнее десятилетие, не позволяют, однако, говорить о том, что удалось приблизиться к нормативам, зафиксированным в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности [10].

Дело в том, что в табл. 3 приведены средние значения времени прибытия, а это означает, что разброс максимальных значений будет доходить в городах до 20 мин и более, а в сельской местности — до 40 мин (вместо 10 и 20 мин соответственно согласно [10]). Беда в том, что нормативы [10] просто нереальны и назначены волевым путем.



**Рис. 3.** Динамика снижения среднего времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара за период 2007–2015 гг.



**Рис. 4.** Динамика снижения среднего времени тушения пожара за период 2007–2015 гг.

Рассмотрим теперь аналогичные данные по времени тушения одного пожара, которые приведены в табл. 4 и на рис. 4.

Из табл. 4 и рис. 4 следует, что среднее время тушения пожара в Российской Федерации по данным официальной пожарной статистики за последние

**Таблица 3.** Изменение среднего времени прибытия, мин, пожарных подразделений к месту пожара за период 2007–2015 гг.

| Регион               | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| По России в целом    | 11,9    | 11,6    | 10,1    | 9,6     | 9,1     | 8,8     | 8,4     | 8,4     | 8,2     |
| В городах            | 8,2     | 8,0     | 7,1     | 6,8     | 6,7     | 6,5     | 6,3     | 6,2     | 6,1     |
| В сельской местности | 18,7    | 17,9    | 15,0    | 13,8    | 12,9    | 12,2    | 11,6    | 11,4    | 11,2    |

**Таблица 4.** Изменение среднего времени тушения пожара, мин, за период 2007–2015 гг. [8, 9]

| Регион               | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| По России в целом    | 43,2    | 40,5    | 25,4    | 25,7    | 23,3    | 21,4    | 18,8    | 18,7    | 16,4    |
| В городах            | 33,0    | 31,3    | 19,9    | 20,1    | 18,9    | 17,5    | 15,3    | 15,0    | 13,1    |
| В сельской местности | 52,5    | 48,1    | 31,4    | 31,6    | 28,0    | 25,2    | 22,2    | 21,8    | 19,2    |

9 лет сократилось на 62 %, при этом в городах — на 70 %, в сельской местности — на 63 %.

Итак, в целом по России среднее время прибытия пожарных подразделений за 2007–2015 гг. сократилось на 30 %, среднее время тушения пожара — на 60 % и более, а ущерб от одного пожара, наоборот, вырос в 2,5–3 раза (при сопоставимом уровне цен, что всегда подчеркивают авторы отчетов [8, 9]).

Этот парадокс мы отнесем к “особенностям” отечественной пожарной статистики.

### Выводы

1. В 2007–2015 гг. официальная пожарная статистика Российской Федерации [7–9] показала монотонное убывание числа пожаров (на 31,5 %), среднего времени прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара (на 30 %), среднего времени тушения одного пожара (на 60 % и более). Эти замечательные результаты позволяют сделать предположение о росте боеспособности подразделений Государственной противопожарной службы.

2. Вместе с тем, по утверждениям специалистов, “для пожарно-спасательных подразделений время

прибытия к месту вызова во многом определяет последующие действия по тушению пожара... Своевременное введение сил и средств позволяет ликвидировать пожар на начальной стадии и тем самым снизить... прямой ущерб от пожара” [11]. Анализ статистических данных показывает “устойчивую тенденцию к снижению показателей среднего времени локализации и ликвидации пожара, а с 2007 г. и среднего времени следования. По прогнозам, в 2020 г. время следования и время локализации пожара должно приблизиться к нулю” [12]. Мы привели здесь обширные цитаты потому, что другие специалисты оценивают рассматриваемую ситуацию так же, как и авторы [11, 12].

3. Наконец, об определенном неблагополучии в области пожарной статистики говорит тот факт, что несмотря на “планомерное” и существенное снижение числа пожаров и временных характеристик оперативной деятельности ущерб от пожаров быстро растет и в городах, и в сельской местности. И эта “особенность” отечественной пожарной статистики принципиально противоречит отмеченным здесь закономерностям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математические методы и модели управления в государственной противопожарной службе : учебник / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2011. — 173 с.
2. Мукеев А. К. Пожар. Социальные, экономические и экологические проблемы. — М. : Пожнаука, 1994. — 386 с.
3. Brushlinsky N. N., Hall J., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2005. — Report No. 10. — 198 p.
4. Brushlinsky N. N., Hall J., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2010. — Report No. 15. — 57 p.
5. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2015. — Report No. 20. — 63 p.
6. Fire Analysis and Research. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2014.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2015 г. : статистический сборник. — М. : ВНИИПО, 2016.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2014 г. : статистический сборник. — М. : ВНИИПО, 2015.
9. Пожары и пожарная безопасность в 2011 г. : статистический сборник. — М. : ВНИИПО, 2012.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Российская газета. — 2008. — № 163.
11. Власов В. К., Денисов А. Н. Анализ показателей времени прибытия первого пожарно-спасательного подразделения к месту вызова // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 84–85.
12. Власов В. К., Денисов А. Н. Недостатки существующих методов оценки показателей оперативной деятельности пожарно-спасательных подразделений // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. — С. 86–88.

*Материал поступил в редакцию 4 апреля 2016 г.*

**Для цитирования:** Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. О некоторых закономерностях и особенностях российской пожарной статистики // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 33–38. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38.

## SOME REGULARITIES AND PECULIARITIES OF THE RUSSIAN FIRE STATISTICS

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

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

**GRIGORYEVA M. P.**, Engineer, Researcher of Scientific and Educational Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, 129366, Moscow, Russian Federation; e-mail address: margarita\_theone@mail.ru)

### ABSTRACT

The study of statistical reports including fire statistics reports, allow us to find interesting regularities, useful for specialists. It requires reliable and complete statistics, which do not always meet these requirements.

The world fire statistics has received a powerful impetus to the development and improvement in recent decades. Many countries have begun to publish detailed annual statistical reports regarding the situation with fires in their own countries and fire services activities (USA, France, UK, Italy and many others). It is possible to regularly conduct detailed comparative analysis and study the situation with fires in the world.

Russian fire statistics is developing in the same direction and annually publishes informative reports that allow to get a lot of interesting information regarding the situation with fires and fire service activities in Russia. Some statistical regularities that can be extracted from these reports, are in the focus of this article. These statistical regularities may be interesting to specialists of fire safety.

The article presents the trends in the number of fires and small fires in Russia in 2009–2015, the trends in the average fire losses per one fire in the cities and rural areas in 2006–2015, the trends in temporal characteristics of fire units activities (the average response time and the average time of extinguishing of fires) in 2007–2015.

It is shown that in spite of a significant reduction in the number of fires and the temporal characteristics (response time and extinguishing time) of fire units activities the fire losses are growing rapidly in the cities and in the rural areas.

**Keywords:** fire; small fire; fire loss; fire statistics; temporal characteristics.

### REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. *Matematicheskiye metody i modeli upravleniya v gosudarsvennoy protivopozharnoy sluzhbe. Uchebnik* [Mathematical method and models of management in state fire service. Manual]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2011. 173 p.
2. Mikeev A. K. *Pozhar. Sotsialnyye, ekonomicheskiye i ekologicheskiye problemy* [Fire. Social, economical and ecological problems]. Moscow, Pozhnauka Publ., 1994. 386 p.
3. Brushlinsky N. N., Hall J., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*. 2005, Report No. 10. 198 p.
4. Brushlinsky N. N., Hall J., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*. 2010, Report No. 15. 57 p.
5. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*. 2015, Report No. 20. 63 p.
6. *Fire Analysis and Research*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2014.
7. *Pozary i pozarnaya bezopasnost v 2015. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2015. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2016.
8. *Pozary i pozarnaya bezopasnost v 2014. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2014. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2015.
9. *Pozary i pozarnaya bezopasnost v 2011. Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2011. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012.

10. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Rossiskaya gazeta* — *Russian Newspaper*, 2008, no. 163 (in Russian).
11. Vlasov V. K., Denisov A. N. Analiz pokazateley vremeni pribytiya pervogo pozharno-spasatel'nogo podrazdeleniya k mesty vyzova [Analysis of the response time]. *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii* [Fire extinguishing: problems, technologies, innovations]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016, pp. 84–85.
12. Vlasov V. K., Denisov A. N. Nedostatki sushchestvuyushikh metodov otsenki pokazateley operativnoy deyatelnosti pozharno-spasatel'nykh podrazdeleniy [Disadvantages of existing methods of evaluation of operational fire and rescue units]. *Pozharotusheniye: problemy, tekhnologii, innovatsii* [Fire extinguishing: problems, technologies, innovations]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016, pp. 86–88.

**For citation:** Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Grigoryeva M. P. O nekotorykh zakonomernostyakh i osobennostyakh rossiyskoy pozharnoy statistiki [Some regularities and peculiarities of the Russian fire statistics]. *Pozharovzryvobezopasnost* — *Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 33–38. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

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

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



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

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

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

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

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

**А. С. ПОЛЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп. 149)

**Д. А. КРЫЛОВ**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: krylovda@mail.ru)

**М. Р. СЫТДЫКОВ**, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

УДК 614.846;004.622

## ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ Порошкового ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Представлены результаты анализа особенностей развития российских и зарубежных мобильных средств порошкового пожаротушения (МСПТ), свидетельствующие о необходимости придания МСПТ свойства приспособляемости к смене огнетушащих веществ и регулирования их возимых запасов под конкретные задачи пожарных подразделений непосредственно в местах базирования, без выполнения дополнительного переоборудования МСПТ. Определены основные требования к ним. Предложено решение по универсализации МСПТ, которое основано на ранее разработанных и запатентованных авторами полезных моделях и способно повысить устойчивость и эффективность системы обеспечения пожарной безопасности защищаемых объектов.

**Ключевые слова:** пожарный автомобиль; автомобиль порошкового тушения; автомобиль комбинированного тушения; мобильные средства пожаротушения; универсальная установка пожаротушения; огнетушащий порошковый состав.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.39-47

Мобильные средства порошкового пожаротушения (МСПТ), к которым относят автомобили порошкового тушения (АП), комбинированного тушения (АКТ) и прицепы с устройствами порошкового тушения, наиболее эффективны при тушении пожаров на опасных производственных объектах различных отраслей промышленности [1]. Применение МСПТ рекомендовано также при пожарах в библиотеках и архивах, что особенно важно для крупных городов, в частности для г. Санкт-Петербурга, где на 2015 г. насчитывалось более 200 библиотек различного профиля.

Обладая уникальными свойствами по эффекту пожаротушения, МСПТ очень редко применяются по назначению: один раз в 8–10 лет, а в некоторых случаях — ни разу за весь жизненный цикл [2]. Например, за 2013 и 2014 гг. не зафиксировано ни одного случая использования МСПТ в Северо-Западном региональном центре МЧС России [3]. При этом они регулярно проходят соответствующие виды технического обслуживания и ремонтов, что связано с расходами на поддержание их в постоянной готовности, определяемыми степенью их изношенности

при эксплуатации. По состоянию на 2015 г. половина МСПТ МЧС России находится в эксплуатации свыше 20 лет, 26 % — 10 лет, 19 % — 5 лет и только 5 % — не более 5 лет.

Ввиду малого количества и значительного износа МСПТ, находящихся на вооружении подразделений противопожарной службы, вряд ли можно ожидать, что они смогут эффективно выполнять возложенные на них задачи по тушению пожаров (например, в г. Санкт-Петербурге имеется всего 2 единицы, а всего в Северо-Западном регионе — 10 единиц МСПТ).

Следовательно, редкое применение МСПТ (при их значительной начальной стоимости, достигающей иногда 9 млн. руб. за единицу) создает отрицательный экономический эффект и вызывает необходимость принятия мер организационного и технического характера по его минимизации. В противном случае необходимость существования МСПТ, как вида пожарной техники, сомнительна! Кстати, такая идея вынашивается отдельными практическими работниками.

Учитывая противоречивость сведений об использовании МСПТ и мнений относительно их полезности, мы провели сбор и анализ имеющихся данных с целью выявить объективное состояние вопроса и определить направления дальнейшего развития мобильных средств порошкового пожаротушения. При этом во всех случаях, где это было возможно, проведено сравнение отечественного и зарубежного опыта в производстве и применении МСПТ по целевому назначению.

Оценка перспектив развития МСПТ дана по трем основным направлениям, определяющим облик любой конструкции:

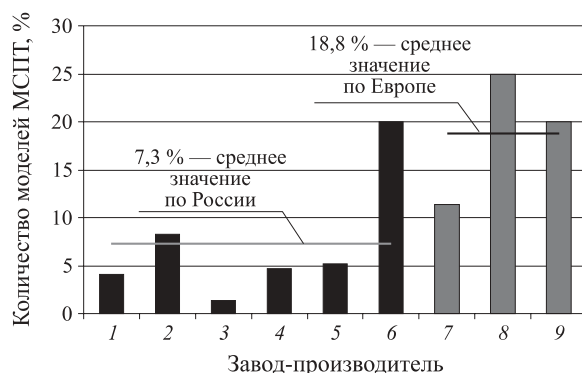
- значимость в общей массе мобильных средств пожаротушения;
- основные характеристики технологического оборудования;
- возможность придания свойства многофункциональности.

Для выполнения оценки были привлечены информационно-статистические данные более чем из 50 источников (государственные и ведомственные документы, статистические сборники, типажи пожарной техники, каталоги продукции, служебная документация, интернет-ресурсы), содержащих информацию о пожарной технике. Кроме того, был осуществлен патентный поиск, использованы контакты с отечественными и зарубежными специалистами в области пожаротушения и производства пожарной техники, собрана служебная информация более чем о 50 объектах г. Санкт-Петербурга и Ленинградской обл., на которых необходимо или рекомендовано применение огнетушащих порошковых составов при тушении пожаров.

Результаты анализа данных информационных материалов по установлению особенностей и перспектив развития МСПТ представлены далее.

### Значимость и состояние производства МСПТ

Распределение МСПТ по федеральным округам Российской Федерации неравномерно и определяется спецификой защищаемых объектов. Наибольшее количество АП сосредоточено в центральной части страны, что обусловлено высокой степенью развития промышленности и наличием значительного числа опасных производственных объектов. В то же время по известным данным в Арктическом регионе Российской Федерации, характеризующемся минимальной температурой зимой минус 70 °С и максимальной летом — +30 °С, насчитывается всего 12 подобных автомобилей, хотя они признаны наиболее подходящими и рекомендуемыми для защиты таких территорий.



**Рис. 1.** Количество моделей МСПТ в номенклатуре заводов России (■) и за рубежом (▨): 1 — ЗПА «Спецавтотехника»; 2 — ООО «Пожтехника»; 3 — ООО «Завод пожарной техники «Пожавто»»; 4 — ОАО «Варгашинский завод ППСО»; 5 — ОАО «УралПОЖТЕХНИКА»; 6 — ООО «ЧИБИС»; 7 — ООО Прилуцкий завод ППО (завод «Пожмашина», Украина); 8 — Rosenbauer International AG (Австрия); 9 — Albert Ziegler GmbH (Германия)

Аналогичная ситуация наблюдается и в г. Санкт-Петербурге (имеются всего 2 МСПТ, дислоцированные на расстоянии около 30 км друг от друга), и в сопредельных с Россией странах. Например, на всей территории Финляндии насчитывается только 2 единицы МСПТ, в г. Варшаве (Польша) — 3–4 единицы в районе аэропорта. Из этих фактов ясно, что в случае потребности в применении они не в состоянии прибыть в удаленные от мест их дислокации районы в установленное нормативами время.

Нельзя также игнорировать известные в стране и мире факты о крупных пожарах в книгохранилищах, архивах, музеях, при тушении пожаров в которых использовалась вода, что приносило огромный ущерб библиотечным и архивным фондам. Очевидно, что в этих случаях следовало бы применять другие способы тушения, в частности порошковый.

Состояние производства МСПТ в России вполне удовлетворяет потребности в них, которая, по оценкам специалистов, составляет около 2,6 % от общего количества пожарных автомобилей. Количество разработанных моделей МСПТ в общей номенклатуре заводов-производителей приведено на рис. 1.

Из сопоставления данных, представленных на рис. 1, следует:

- потребность в МСПТ в системе пожаротушения России не иссякла, что подтверждается существующей потребностью в них;
- доля моделей МСПТ, выпускаемых в России, почти в 3 раза меньше, чем за рубежом (7,3 % против 18,8 %), что можно объяснить экономической нецелесообразностью их производства, очень редким применением по назначению в сравнении с автомобилями водяного и пенного пожаротушения и низкой потребностью в них.

### Оценка основных характеристик МСПТ

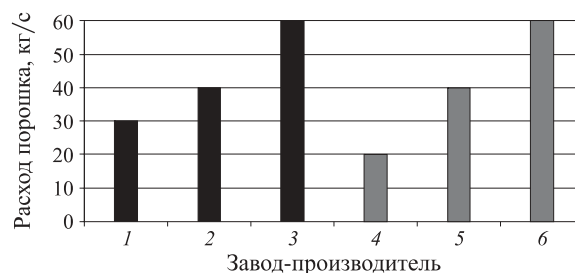
На втором этапе исследования выполнена статистическая обработка собранной информации об основных характеристиках МСПТ. Эти сведения и результаты их обработки представлены в табл. 1 и 2.

Сравнение основных характеристик МСПТ (массы порошка, объема жидких огнетушащих веществ (ОТВ), рабочего давления вытеснения и расхода порошка) выполнено графическим методом (рис. 2–6).

Представленные результаты оценки основных характеристик МСПТ наглядно показывают сходство и различие отечественных и зарубежных образцов:

- максимальный расход порошка лежит в одних границах (от 30 до 60 кг/с) и зависит от класса МСПТ (легкие, средние, тяжелые);
- рабочее давление вытесняющего газа в порошковых установках отечественных МСПТ в среднем в 2 раза ниже, чем у иностранных, что можно объяснить достижениями российских инженеров в изучении и проектировании систем аэрозольтранспорта.

Нужно отметить, что при конструировании АКТ уделяют внимание действительным потребностям



**Рис. 2.** Расход порошка в отечественных (1–3) и зарубежных (4–6) МСПТ: 1 — УПТ-800 “Вьюга”; 2 — Iveco Trakker 6×6 АКТ 6000-5000; 3 — АП-5000; 4 — Chevrolet Cheyenne C-3500 HD АКТ (США); 5 — DAFFFLF 55.210-15 (Голландия); 6 — KRAZ-6322 (Украина)

в различных видах пожаротушения на конкретных объектах [4, 5]. Однако по запасу пенообразователя и огнетушащего порошка наблюдается большее разнообразие, нежели у российских АКТ (в среднем до 3 раз). Зарубежные АКТ снабжены порошковыми установками вместимостью преимущественно до 1000 кг порошка, что в среднем по массе составляет одну восьмую часть запаса воды. В то время как российские производители пожарной техники уделяют порошку большее внимание и оснащают

**Таблица 1.** Основные характеристики МСПТ зарубежного производства

| Тип базового шасси | Марка базового шасси или страна-производитель | Количество типов-размеров/Доля от общего числа МСПТ, % | Основные характеристики МСПТ              |           |
|--------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|
|                    |                                               |                                                        | Показатель                                | Значение  |
| Грузовые           | Volvo, Iveco, Mercedes Benz, DAF, MAN         | 32/75                                                  | Количество сосудов для порошка            | 1–2       |
|                    |                                               |                                                        | Масса порошка, кг                         | 250–10000 |
|                    |                                               |                                                        | Количество стволов:                       |           |
|                    |                                               |                                                        | ручных                                    | 1–3       |
|                    |                                               |                                                        | лафетных                                  | 1–2       |
|                    |                                               |                                                        | Расход порошка через лафетный ствол, кг/с | 20–80     |
| Легковые           | Chevrolet, Ford, Volkswagen                   | 4/9                                                    | Рабочее давление вытесняющего газа, МПа   | 0,4–2,8   |
|                    |                                               |                                                        | Количество сосудов для порошка            | 1         |
|                    |                                               |                                                        | Масса порошка, кг                         | 16–150    |
|                    |                                               |                                                        | Количество стволов:                       |           |
|                    |                                               |                                                        | ручных                                    | 1–2       |
| Прицепы            | Индия, ОАЭ, Украина                           | 4/9                                                    | лафетных                                  | 0–1       |
|                    |                                               |                                                        | Расход порошка через лафетный ствол, кг/с | 20        |
|                    |                                               |                                                        | Количество сосудов для порошка            | 1         |
|                    |                                               |                                                        | Масса порошка, кг                         | 150–500   |
|                    |                                               |                                                        | Количество ручных стволов                 | 1–2       |
|                    |                                               |                                                        | Дальность подачи порошка, м               | 10        |
| Контейнеры         | Renault, MAN, Mercedes Benz                   | 3/7                                                    | Рабочее давление вытесняющего газа, МПа   | 1,2       |
|                    |                                               |                                                        | Количество сосудов для порошка            | 1–2       |
|                    |                                               |                                                        | Масса порошка, кг                         | 3000–4000 |
|                    |                                               |                                                        | Количество стволов:                       |           |
|                    |                                               |                                                        | ручных                                    | 1–3       |
|                    |                                               |                                                        | лафетных                                  | 1         |
|                    |                                               |                                                        | Расход порошка через лафетный ствол, кг/с | 20–80     |

Таблица 2. Основные характеристики МСПТ отечественного производства

| Тип базового шасси | Марка базового шасси                                                                                                                                                    | Количество типоразмеров/<br>Доля от общего числа МСПТ, % | Основные характеристики МСПТ                            |            |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Показатель                                              | Значение   |
| Грузовые           | КамАЗ (АП-5000-40;<br>АП-5; АКТ-6/1000-80/20;<br>АКТ-2,0/100 0/50);<br>ЗИЛ (АП-1000-40;<br>АКТ-1,0/1000-40/40);<br>Урал (АКТ-2-1000-50);<br>Iveco (АКТ-11,0/1000-50/40) | 13/82                                                    | Количество сосудов для порошка                          | 1–4        |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Масса порошка, кг                                       | 250–5000   |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Количество стволов:<br>ручных<br>лафетных               | 1–2<br>1–2 |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Расход порошка, кг/с:<br>лафетный ствол<br>ручной ствол | 20–80<br>5 |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Дальность подачи порошка, м                             | 50         |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Рабочее давление вытесняющего газа, МПа                 | 0,8–1,4    |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          |                                                         |            |
| Легковые           | ГАЗ (АП-800 “Вьюга”)                                                                                                                                                    | 1/2                                                      | Количество сосудов для порошка                          | 1          |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Масса порошка, кг                                       | 800        |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Количество стволов:<br>ручных<br>лафетных               | 2<br>1     |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          |                                                         |            |
| Прицепы            | Пожарный прицеп<br>порошкового тушения<br>УППП-251                                                                                                                      | 1/2                                                      | Количество сосудов для порошка                          | 1          |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Масса порошка, кг                                       | 250        |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Количество ручных стволов                               | 2          |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Дальность подачи порошка, м                             | 10         |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Рабочее давление вытесняющего газа, МПа                 | 1,2        |
| Контейнеры         | ЗИЛ (ПСК)                                                                                                                                                               | 1/2                                                      | Количество сосудов для порошка                          | 1          |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Масса порошка, кг                                       | 500        |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          | Количество стволов:<br>ручных<br>лафетных               | 2<br>1     |
|                    |                                                                                                                                                                         |                                                          |                                                         |            |

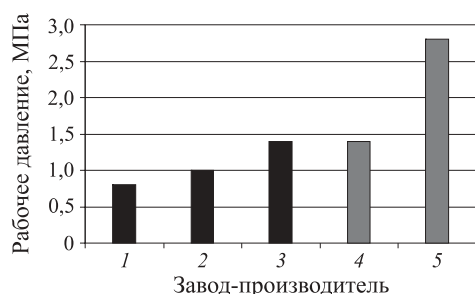


Рис. 3. Давление вытесняющего газа порошковых установок отечественных (1–3) и зарубежных (4, 5) МСПТ: 1, 2 — АП-5000; 3 — Iveco Trakker 6×6 АКТ 6000-5000; 4, 5 — Rosenbauer International AG Pulverlöschfahrzeuge (Австрия)

АКТ запасом порошка, который в среднем составляет одну четвертую от массы воды (1000 кг).

Аналогичная ситуация наблюдается и с запасами пенообразователя. Зарубежные производители в большинстве случаев оснащают АКТ сосудами, вмещающими до 2000 л пенообразователя.

Результаты анализа показали, что за полувековой путь развития МСПТ претерпели ряд эволюционных изменений. В частности, в последние годы для

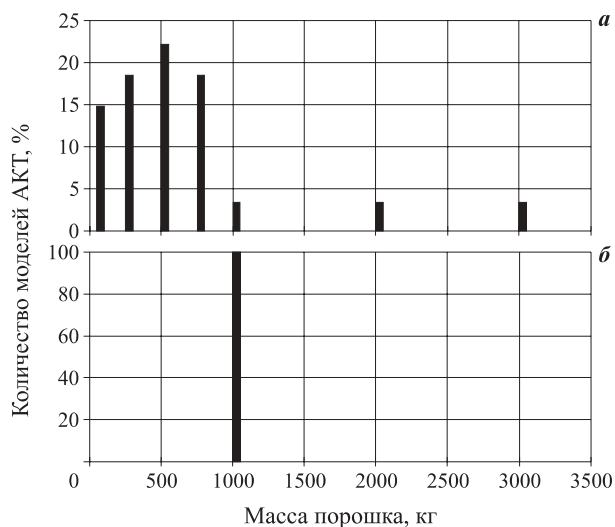


Рис. 4. Распределение моделей АКТ по массе вывозимого порошка: а — зарубежные; б — отечественные

монтажа технологического оборудования пожаротушения производители стали использовать (помимо традиционных автомобильных шасси) специализированные контейнеры, прицепы и полуприцепы [6].

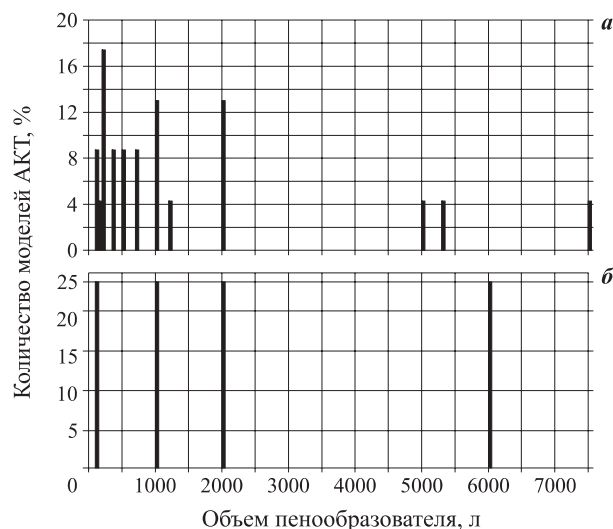


Рис. 5. Распределение моделей АКТ по объему вывозимого пенообразователя: а — зарубежные; б — отечественные

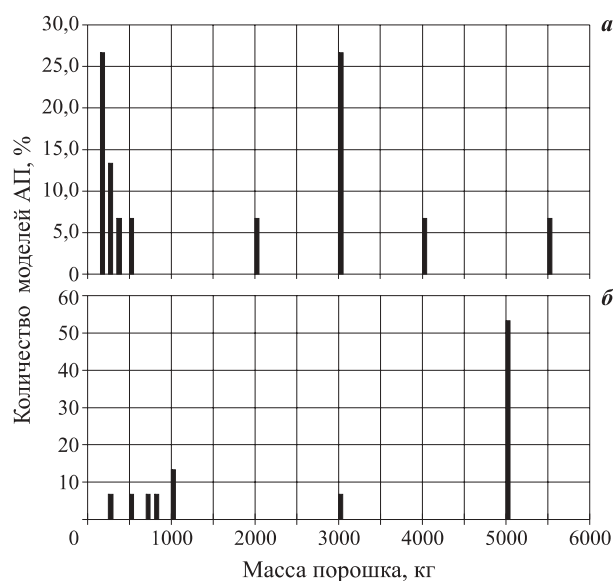


Рис. 6. Распределение моделей АП по массе вывозимого порошка: а — зарубежные; б — отечественные

### Оценка возможности придания МСПТ свойства многофункциональности

Мысль о возможности придания МСПТ свойства многофункциональности проведена в работах [7, 8]. Особо здесь следует выделить идею создания автомобиля, приспособляемого под определенные потребности пожарных подразделений. Однако этим направлениям развития не уделено должного внимания, что следует из результатов анализа научных исследований, выполненных с 1996 по 2015 гг.

В связи с этим нами проведен анализ статистической информации по обобщающим показателям, которые позволили предложить вариант решения выявленной проблемы. Результаты анализа представлены далее.

### Отличительные особенности МСПТ

Анализ модельного ряда ведущих зарубежных заводов-производителей показал, что пятую часть существующих моделей основной, специальной и вспомогательной пожарной техники составляют МСПТ, представленные во всех классах (легкие, средние и тяжелые) [4, 9].

Современные модели АКТ различных стран имеют постоянное соотношение между запасами ОТВ в условиях эксплуатации (как правило, соотношение массы порошка, воды и пенообразователя составляет 1:5:3), что определено высокой огнетушащей способностью порошковых составов и узкой направленностью их применения.

При этом можно выделить соотношения другого порядка: 1:50:150 и 1:0,7:0,07. В первом случае порошковый состав — это незначительное дополнение к тактическим возможностям пенного тушения, во втором случае на первый план выступают возможности порошкового тушения. Разница легко объясняется особенностями объектов, расположенных на территории, защищаемой рассматриваемой пожарной техникой.

Как отечественные, так и зарубежные АП представлены достаточно разнообразным модельным рядом. При этом большинство иностранных моделей (60 %) оснащены порошковыми установками с массой вывозимого порошка до 2000 кг включительно, в то время как более 60 % российских АП имеют запас порошка более 2000 кг [1].

### Обоснование направления развития МСПТ

В истории развития автомобилей порошкового тушения видны тенденции к увеличению вместимости сосудов с порошком, отказу от использования инертных газов и автономных компрессоров, установленных на шасси, в пользу баллонов со сжатым воздухом, а также к усовершенствованию средств подачи порошка в целях увеличения расхода [10] и эффективной дальности подачи [11].

На современном этапе развития МСПТ выбрали в себя определенный перечень технических и конструкторских решений, разработанных отечественными и зарубежными специалистами [12]. Благодаря созданию новых материалов и технологий, появилась пожарная техника нового поколения [8].

Один из вариантов развития МСПТ — пожарные контейнеры с установкой порошкового тушения, получившие популярность в пожарной охране зарубежных стран. Контейнеры могут доставляться на место пожара с помощью многоцелевого контейнеровоза. Автомобили и контейнеры порошкового тушения используют для тушения отдельных видов пожаров. Их, как правило, не относят к автомобилям первой помощи, за исключением случаев, когда

привлечение данной техники определено в соответствии с планами пожаротушения, разработанными на основании анализа риска.

Практика показывает, что, несмотря на уникальные возможности АКТ, спрос на них низкий (порядка одного автомобиля в год на завод). Это обусловлено тем, что они предназначены для узкого использования — в определенных отраслях промышленности и инфраструктуры. В то же время идея универсальности, заложенная в конструкции данных автомобилей, наиболее перспективна в наши дни. Это связано с тем, что в районах выезда одной и той же пожарной части могут быть сосредоточены объекты, для тушения пожаров на которых необходимы различные огнетушащие вещества. Оснащение таких частей всеми необходимыми видами пожарной техники, а также ее содержание экономически невыгодно. Применение известных образцов установок пожаротушения на пожарных автомобилях не обеспечивает необходимой вариативности заполнения их ОТВ и удовлетворения потребностей конкретного подразделения пожарной охраны. В связи с этим проектируют и изготавливают автомобили индивидуально для каждого подразделения пожарной охраны, исходя из их потребностей, что увеличивает стоимость техники и затрудняет ее использование другими подразделениями. В таких случаях особый интерес, по нашему мнению, представляет возможность изменения соотношения ОТВ, вывозимых на одном и том же автомобиле без его дополнительной конструктивной доработки (в зависимости от потребностей пожарной части).

Патентный поиск показал, что уже существуют разработанные предложения по устранению недостатков, усложняющих и затрудняющих успешную эксплуатацию МСПТ. Одними из таких недостатков являются неприспособленность к диагностированию технического состояния оборудования; контроль гранулометрического состава порошка, загруженного в сосуды; проведение обучения и периодических тренировок личного состава по совершенствованию практических навыков применения оборудования.

Следует сказать, что еще в 90-х годах была отмечена необходимость применения модульных технологий при конструировании пожарной техники, которая позволила бы компоновать пожарную надстройку базовых шасси в соответствии с пожеланиями заказчика под нужды конкретных пожарных частей. И в настоящее время ключевым условием конкурентоспособности пожарно-технической продукции остается максимальная унификация ее узлов и агрегатов [8]. В связи с этим существующие образцы пожарной техники требуют соответствующей модернизации и унификации. По нашему мнению, необходимо кардинально изменить подход к модер-

низации установок пожаротушения для обеспечения возможности оперативного изменения типа и запасов вывозимых на автомобиле ОТВ (требуемых видов и размеров) в соответствии с особенностями района выезда подразделения пожарной охраны. В этих условиях очевидна необходимость разработки и создания многофункционального пожарного автомобиля с целью унификации МСПТ.

Оснащение подразделений пожарной охраны такой техникой позволит периодически менять тактические возможности основных пожарных автомобилей, стоящих в боевом расчете пожарных частей, в целях равномерного использования их ресурса по аналогии со сменой самолетов ВКС России, находящихся в соответствующей степени готовности [13].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о потребности в модернизированных МСПТ, имеющих следующие преимущества:

- возможность монтажа на любом шасси;
- возможность применения любых ОТВ и в любом соотношении;
- относительная дешевизна и доступность приобретения;
- надежность, понятность и комфортность использования современной конструкции;
- импортозамещение узлов и агрегатов.

Нужно отметить, что интерес к порошковому пожаротушению сохраняется. Это отражается в научных работах [10, 11, 14]. В Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России (в целях реализации отмеченных требований) разработаны полезные модели установок порошкового тушения (патенты: № 140916U1 (2014); № 150430U1 (2015); № 158632U1 (2016)), пригодных для монтажа на мобильных шасси. На их основе разработана и испытана (с положительными результатами) лабораторная модель универсальной установки пожаротушения, отвечающая современным требованиям. Такая установка пожаротушения в своем составе имеет:

- унифицированные сосуды для применяемых ОТВ, которые обеспечивают их хранение и вытеснение;
- параллельные трубопроводы (по числу применяемых ОТВ), предназначенные для загрузки и выдачи ОТВ, находящихся в разных фазовых состояниях; для разделения потоков твердых и жидких ОТВ, что исключает потребность в промежуточной операции просушки трубопроводов на пожаре и обеспечивает возможность последовательной подачи огнетушащего порошкового состава, воды и растворов на ее основе;
- дополнительные чистящие элементы (например, щеточные диски) на эластичных разделителях сред, необходимые для удаления налипших

частиц порошка с внутренней поверхности сосудов при замене ОТВ.

Конструкция сосудов и механизм вытеснения позволяют применять широкую номенклатуру ОТВ. Кроме того, обеспечена возможность получения компрессионной пены, расширяющей возможности пожаротушения.

Таким образом, представленные результаты позволяют утверждать (вопреки мнениям скептиков), что будущее за мобильными средствами пожароту-

шения, легко перенастраиваемыми на применение любых ОТВ (по количеству и видам) непосредственно в пожарных частях под их конкретные тактические задачи в зависимости от особенностей защищаемых объектов. А научно-технические решения и производственные мощности по созданию мобильных средств пожаротушения, перенастраиваемых непосредственно в пожарных частях на применение ОТВ с необходимыми свойствами, в России существуют!

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верзилин М. М., Плат П. В., Климкин В. И. Типаж пожарных автомобилей на 2011–2015 гг. — М. : МЧС России, 2011. — 71 с.
2. Маркова Н. Б., Сытдыков М. Р., Поляков А. С. Обеспечение эксплуатационной надежности пожарных автомобилей порошкового тушения // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. — 2014. — № 1. — С. 38–42.
3. Андросова И. Г., Зуева Н. А., Лупанов С. А. и др. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : стат. сб. / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
4. Vaccaro B. In Sharonville, Ohio, preparedness includes a dry chem unit // Fire Rescue. — 2012. — no. 12. URL: <http://www.firefighternation.com/article/speccking-and-buying/sharonville-ohio-preparedness-includes-dry-chem-unit> (дата обращения: 28.01.2016).
5. Vaccaro B. Speccking a rig for refinery firefighting // Fire Rescue. — 2008. — no. 8. URL: <http://www.firefighternation.com/article/apparatus-innovations/speccking-rig-refinery-firefighting> (дата обращения: 29.01.2016).
6. Яковенко Ю. Ф. Пожарные автомобили нового поколения. Современная ситуация и перспективы // Пожарная безопасность : специализированный каталог. — 2015. — С. 82–86. URL: <http://www.secuteck.ru/imag/fire-0-2015> (дата обращения: 30.01.2016).
7. Лелеко Д. Российский рынок пожарных автомобилей. Тенденции, новые технологии, перспективы // Пожарная безопасность : специализированный каталог. — 2015. — С. 88–89. URL: <http://www.secuteck.ru/imag/fire-0-2015> (дата обращения: 30.01.2016).
8. Бочаров В. Н., Война Ю. Г., Зепалов В. В., Дмитриев А. Ю. Пожарные автомобили: настоящее и будущее // Пожарная безопасность : специализированный каталог. — 2015. URL: <http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/pozharnye-avtomobili-nastoyaschee-i-budushee> (дата обращения: 28.01.2016).
9. Официальный сайт Rosenbauer International AG. Продукция компании. URL: <http://www.rosenbauer.com/en/rosenbauer-world/vehicles/industrial-vehicles/dry-powder-fire-trucks.html> (дата обращения: 28.01.2016).
10. Ульянов Н. И. Обоснование параметров струеобразующих устройств для подачи огнетушащих порошковых составов : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МВД России, 2000. — 206 с.
11. Жуйков Д. А. Разработка метода пожаротушения с использованием стволовой установки контейнерной доставки огнетушащих веществ на удаленное расстояние : дис. ... канд. техн. наук. — Тольятти : ТГУ, 2007. — 185 с.
12. Vaccaro B. At FDIC, Apparatus manufacturers introduce new versions of best-selling models // Fire Rescue. — 2014. — No. 6. URL: <http://www.firefighternation.com/article/speccking-and-buying/fdic-apparatus-manufacturers-introduce-new-versions-best-selling-models> (дата обращения: 29.01.2016).
13. Степени боевой готовности соединений и частей ВКС. URL: <http://lektsiopedia.org/lek-36643.html> (дата обращения: 28.01.2016).
14. Артемьев Н. С., Бондаренко М. В. Тушение разлитого жидкого натрия при пожаре на атомной электростанции // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 1. — С. 36–40.

Материал поступил в редакцию 19 февраля 2016 г.

**Для цитирования:** Поляков А. С., Крылов Д. А., Сытдыков М. Р. Информационно-статистический анализ особенностей развития мобильных средств порошкового пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 39–47. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.39-47.

## INFORMATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF FIRE VEHICLES WITH DRY CHEMICAL EXTINGUISHING INSTALLATIONS

**POLYAKOV A. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Physical and Technical Basement of Fire Safety Ensuring, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

**KRYLOV D. A.**, Postgraduate Student, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: krylovda@mail.ru)

**SYTDYKOV M. R.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Department of Physical and Technical Basement of Fire Safety Ensuring, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

### ABSTRACT

Mobile dry chemical fire extinguishing equipment (MDCFE) (dry powder fire trucks, combined fire engines, containers and trailers with dry chemical extinguishing devices) are most effective in extinguishing fires at hazardous production facilities of various industries. However, they are used very rarely only once in 8–10 years, and in some cases — never for the life cycle.

Consequently, the rare use of MDCFE (considering their significant initial cost, about 9 million of Rubles per unit) creates a negative economic impact, and calls for the adoption of organizational and technical measures for its significant reduction.

We assessed the prospects of development of MDCFE in three main ways that determine the appearance of any construction:

- relevance in the total number of mobile fire extinguishing equipment;
- the main characteristics of technological equipment;
- the ability to impart properties of multifunctionality.

Comparison of the data about Russian and foreign fire technics manufacturers production showed that:

- Russian fire-fighting system needs 2.6 % to other types of fire equipment MDCFE;
- share of MDCFE models produced in Russia, almost 3 times lower than abroad (7.3 % vs. 18.8 %), that can be explained by their uneconomical production, they are applied very rarely, in comparison with water and foam fire trucks and finally because of low need for them.

It was found that diversity of the stock of foaming agent and dry chemical powder at foreign combined fire engines is an average in 3 times greater than at Russian.

The advisability of impart to MDCFE properties of multifunctionality has long been known. There is the idea of a fire engine, adaptable to the specific needs of fire departments.

Currently, existing fire extinguishing installations on fire vehicles do not provide the necessary variability of fire extinguishing agents (FEA) filling.

In this regard, we developed and tested (with positive results) at the St. Petersburg University Emercom of Russia laboratory model of the universal fire suppression system that meets modern requirements. Installation configuration allows to mount it on a car and truck chassis, on trailer and in container.

The design of vessels and the mechanism of displacement of the installation allow the use of a wide range of FEA and give them to the extinguishing in the required proportions. In addition, it can provide compressed air foam, expanding fire extinguishing capabilities.

These results allow us to state (contrary to the skeptics views) that mobile fire extinguishing equipment with universal fire-fighting installations are the future of fire fighting. They can be easily reconfigured on the application of any FEA (by number and types) directly at the fire station under the specific tactical tasks depending on the characteristics of protected objects.

There are scientific and technological solutions and manufacturing capabilities to create a mobile fire-fighting equipment with the required properties in Russia!

**Keywords:** fire engine; dry powder fire truck; combined fire engine; mobile fire extinguishing equipment; universal fire extinguishing installation; dry chemical powder.

## REFERENCES

1. Verzilin M. M., Plat P. V., Klimkin V. I. *Tipazh pozharnykh avtomobiley na 2011–2015 gg.* [Fire vehicles description of for 2011–2015]. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2011. 71 p.
2. Markova N. B., Sytdykov M. R., Polyakov A. S. Obespecheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti pozharnykh avtomobiley poroshkovogo tusheniya [To ensure safe working fire pumper]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2014, no. 1, pp. 38–42.
3. Androsova I. G., Zueva N. A., Lupanov S. A. et al. Matyushin A. V. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2014 godu: stat. sb.* [Fires and fire safety. Statistical yearbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015. 124 p.
4. Vaccaro B. In Sharonville, Ohio, preparedness includes a dry chem unit. *Fire Rescue*, 2012, no. 12. Available at: <http://www.firefighternation.com/article/speccking-and-buying/sharonville-ohio-preparedness-includes-dry-chem-unit> (Accessed 28 January 2016).
5. Vaccaro B. Speccking a rig for refinery firefighting. *Fire Rescue*, 2008, no. 8. Available at: <http://www.firefighternation.com/article/apparatus-innovations/speccking-rig-refinery-firefighting> (Accessed 29 January 2016).
6. Yakovenko Yu. F. Pozharnyye avtomobili novogo pokoleniya. Sovremennaya situatsiya i perspektivy [New generation of fire vehicles. Modern situation and perspectives]. *Pozharnaya bezopasnost. Spetsializirovanny katalog — Fire Safety. Special Catalogue*, 2015, pp. 82–86. Available at: <http://www.secuteck.ru/imag/fire-0-2015/> (Accessed 30 January 2016).
7. Leleko D. Rossiyskiy rynek pozharnykh avtomobiley. Tendentsii, novyye tekhnologii, perspektivy [Russian market of fire vehicles. Trends, new technologies, perspectives]. *Pozharnaya bezopasnost. Spetsializirovanny katalog — Fire Safety. Special Catalogue*, 2015, pp. 88–89. Available at: <http://www.secuteck.ru/imag/fire-0-2015/> (Accessed 30 January 2016).
8. Bocharov V. N., Voyna Yu. G., Zepalov V. V., Dmitriev A. Yu. Pozharnyye avtomobili: nastoyashcheye i budushcheye [Fire trucks: present and future]. *Pozharnaya bezopasnost. Spetsializirovanny katalog — Fire Safety. Special Catalogue*, 2015. Available at: <http://www.secuteck.ru/articles2/fire-sec/pozharnye-avtomobili-nastoyashee-i-budushee/> (Accessed 28 January 2016).
9. Catalog of the Rosenbauer fire vehicles. Available at: <http://www.rosenbauer.com/en/rosenbauer-world/vehicles/industrial-vehicles/dry-powder-fire-trucks.html> (Accessed 28 January 2016).
10. Ulyanov N. I. *Obosnovaniye parametrov struyebrazuyushchikh ustroystv dlya podachi ognetushashchikh poroshkovykh sostavov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation jet forming devices parameters for fire extinguishing dry chemical supplying. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2000. 206 p.
11. Zhuykov D. A. *Razrabotka metoda pozharotusheniya s ispolzovaniyem stvolovoy ustanovki konteyner-noy dostavki ognetushashchikh veshchestv na udalennoye rasstoyaniye. Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of the firefighting method using barrel installation of the container delivery of fire extinguishing agents on remote distance. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2007. 185 p.
12. Vaccaro B. At FDIC, apparatus manufacturers introduce new versions of best-selling models. *Fire Rescue*, 2014, no. 6. Available at: <http://www.firefighternation.com/article/speccking-and-buying/fdic-apparatus-manufacturers-introduce-new-versions-best-selling-models> (Accessed 29 January 2016).
13. Stepeni boyevoy gotovnosti soyedineniy i chastey VVS [Degrees of combat readiness units and formations of the Air Force]. Available at: <http://lektsiopedia.org/lek-36643.html> (Accessed 28 January 2016).
14. Artemyev N. S., Bondarenko M. V. Tusheniye razlitogo zhidkogo natriya pri pozhare na atomnoy elektrostantsii [Extinguishment of a spilt liquid sodium fires]. *Pozhary i schezvychnyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2012, no. 1, pp. 36–40.

**For citation:** Polyakov A. S., Krylov D. A., Sytdykov M. R. Informatsionno-statisticheskiy analiz osobennostey razvitiya mobilnykh sredstv poroshkovogo pozharotusheniya [Information and statistical analysis of development of fire vehicles with dry chemical extinguishing installations]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 39–47. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.39-47.

**А. В. КАЛАЧ**, д-р хим. наук, профессор, заместитель начальника по научной работе, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a\_kalach@mail.ru)

**С. В. ШАРАПОВ**, д-р техн. наук, профессор, начальник института, Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35)

**А. Н. ГУСАКОВ**, старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: gusakov\_an@vlgps.ru)

УДК 614.842.61

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Рассматривается общее состояние вопроса о тушении нефти и нефтепродуктов, а также аспекты пожаротушения на объектах нефтегазовой отрасли с применением нового вида пены — “твердой пены”, разработанной российскими учеными. Дается анализ применения автомобилей целевого применения за период 2005–2014 гг. на основе статистических данных по пожарам в Российской Федерации, который позволяет оценить востребованность автомобилей пенного тушения с достаточной точностью. Показано, что среди существующих типажей пожарных автомобилей отсутствуют автомобили в контейнерном исполнении и на шасси прицепов. Показана актуальность создания таких автомобилей, что позволит повысить защищенность объектов нефтегазового комплекса.

**Ключевые слова:** пенообразователь; воздушно-механическая пена; “твердая пена”; автомобиль пенного тушения; пожарный контейнер; пожарный прицеп.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.48-54

Для хранения нефти и нефтепродуктов во всем мире чаще всего применяют стальные вертикальные резервуары (РВС), которые конструктивно подразделяются на резервуары со стационарной крышей и с плавающей. Возникновение пожара в резервуаре, как правило, начинается со взрыва паровоздушной смеси в объеме резервуара, не занятом жидкостью. Возможно также возникновение факельного горения в местах выхода из емкости в атмосферу паров хранящихся в ней жидкостей. Автоматические установки пожаротушения зачастую не выполняют возложенных на них функций, так как оказываются поврежденными в результате взрыва паровоздушной смеси [1, 2].

Наиболее вероятными причинами возникновения пожаров в резервуарах являются [2]:

- грозовые разряды;
- искры, возникающие при проведении регламентных ремонтных работ с использованием электро- и газосварки, электроинструмента и ручного инструмента;
- самовозгорание пирофорных отложений на стенках резервуаров.

На дальнейшее развитие пожара существенное влияние оказывают физико-химические свойства и показатели пожарной опасности хранящихся в резервуарах жидкостей, конструктивные особенности резервуаров, климатические и метеорологические условия, технологический режим выполняемых операций.

Пожары в резервуарах требуют больших расходов огнетушащих веществ (ОТВ) для тушения и защиты горящего и соседних с ним резервуаров, значительного числа личного состава и техники. Эти пожары трудно поддаются тушению, носят затяжной характер и наносят значительный ущерб экономике и экологии.

В связи с этим повышение эффективности тушения пожаров на предприятиях по хранению нефти и нефтепродуктов продолжает оставаться одной из важнейших составляющих обеспечения защиты населения и окружающей среды от угроз техногенного характера.

Основным средством тушения пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов является пена средней и низкой кратности, подача которой

возможна различными устройствами на поверхность горючей жидкости через борт резервуара, или непосредственно в слой горючего (так называемый подслоный метод тушения), или комбинированным способом [1, 3, 4].

Для получения воздушно-механической пены применяются отечественные и зарубежные пенообразователи, выбор которых в настоящее время огромен [5, 6]. При выборе пенообразователей в масштабах гарнизона пожарной охраны с учетом специфики объектов, наличия пожарной техники и пенообразующего оборудования целесообразно использовать принцип унификации пенообразователя. Например, используемые пенообразователи должны образовывать пену низкой, средней и высокой кратности, обеспечивать тушение как углеводородных, так и полярных горючих жидкостей и быть совместимыми с другими ОТВ в ходе тушения пожара [3, 4].

Огнетушащее действие воздушно-механической пены в настоящее время хорошо известно. Оно заключается в изоляции поверхности горючего от факела пламени, снижении вследствие этого скорости испарения жидкости, сокращении количества горючих паров, поступающих в зону горения, а также в охлаждении горячей жидкости. Роль каждого из этих факторов в процессе тушения изменяется в зависимости от свойств горячей жидкости, качества пены и способа ее подачи [1, 2, 7, 8].

При подаче пены в резервуар происходит ее разрушение одновременно от факела пламени и нагретой поверхности горючего. При этом скорость разрушения пропорциональна величине теплового потока и снижается в процессе тушения [2].

В нашей стране нормативное время тушения пожара в резервуарах типа РВС при нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя принято считать равным 15 мин при подаче пены через борт резервуара и 10 мин — под слой горючего [1].

При подслоном способе тушения пожара используются пены низкой кратности, получаемые из фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей. Применение последних является необходимым условием подслоного способа тушения, поскольку пена на их основе инертна к воздействию углеводородов в процессе ее длительного подъема на поверхность нефтепродукта. Пена, всплывающая на поверхность через слой горючего, способна обтекать любые препятствия, возникающие в результате разрушения резервуара, и растекаться по всей поверхности горючего. Значительное снижение интенсивности горения достигается через 90–120 с с момента выхода пены на поверхность. В дальнейшем в течение 120–180 с происходит полное прекращение горения [2, 9].

В 2014 г. ООО «Научно-производственное объединение «Современные пожарные технологии»» (ООО «НПО СОПОТ») было предложено использовать для тушения горящих резервуаров так называемую «твердую пену». Она представляет собой двухкомпонентный состав, основу которого составляет самый обычный раствор пенообразователя, отвечающий за образование пены, с добавкой композиции на основе структурированных частиц кремнезема (оксида кремния). Частицы оксида кремния вводятся в раствор способом инъекции непосредственно перед подачей на горящую поверхность. Добавка оксида кремния способствует затвердеванию пены, переводя ее в керамическую фазу, что происходит в течение 5–30 с. Эксперименты показали, что «твердая пена» способна закрепляться на различных поверхностях, превращаясь в нечто вроде пористой керамической губки, которая надежно изолирует поверхность от огня и высоких температур. В отличие от обычных пен, которые под действием температуры факела пламени и нагретой поверхности разрушаются, вспененный кремнезем способен выдерживать температуру до 1000 °С. При испарении воды кристаллизация аморфных частиц кремнезема лишь усиливается, кристаллический каркас уплотняется, и пена становится лишь прочнее. Хотя говорится о затвердевании, полимеризованная пена не является твердой в обычном понимании этого слова. Скорее, она напоминает гель, который обладает мощной способностью адсорбировать воду. Впитав ее, пена размягчается и легко подвергается механическому разрушению [10, 11].

При этом остаются нераскрытыми в полном объеме многие вопросы, связанные с использованием данной пены для тушения нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках, а именно:

- возможность использования ее при подслоном способе тушения горящих жидкостей, особенно полярных жидкостей и нефтепродуктов с примесью спиртов;
- изменение свойств пены, получаемой из протеиновых, синтетических, фторсодержащих пенообразователей;
- необходимая интенсивность подачи данного вида пены при тушении пожаров; зависимость интенсивности ее подачи от времени перехода в твердую фазу;
- возможность использования данного вида пены при отрицательных температурах;
- возможные негативные последствия при попадании личного состава и техники в зону работы пеногенераторов и стволов;
- использование имеющегося на вооружении пожарных частей пенного оборудования для получения «твердой пены», совершенствование и

Пожарные автомобили целевого применения и их аналоги в соответствии с типажом пожарных автомобилей

| № п/п    | Наименование пожарного автомобиля                                 | Пожарный прицеп | Пожарный контейнер |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>1</b> | <b>Автомобили со специальными средствами тушения</b>              |                 |                    |
| 1.1      | Автомобиль пенного тушения                                        | —               | —                  |
| 1.2      | Автомобиль порошкового тушения                                    | +               | +                  |
| 1.3      | Автомобиль комбинированного тушения                               | +               | —                  |
| 1.4      | Автомобиль газового тушения                                       | +               | +                  |
| 1.5      | Автомобиль газовойдухного тушения                                 | —               | —                  |
| <b>2</b> | <b>Автомобили подачи средств тушения в очаг пожара</b>            |                 |                    |
| 2.1      | Пожарная автотасосная станция                                     | +               | +                  |
| 2.2      | Пожарный пеноподъемник                                            | —               | —                  |
| 2.3      | Пожарный пеноподъемник с цистерной                                | —               | —                  |
| <b>3</b> | <b>Пожарные аэродромные автомобили</b>                            |                 |                    |
| 3.1      | Аэродромная автоцистерна                                          | —               | —                  |
| 3.2      | Многоцелевой пожарно-спасательный аэродромный автомобиль с трапом | —               | —                  |

модернизация конструкции пеногенераторов и стволов.

Полученные ответы на данные вопросы позволят перейти на новый уровень в тушении горючих жидкостей.

При возникновении пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов расписанием выезда пожарного гарнизона устанавливается повышенный номер (ранг) вызова, согласно которому к месту тушения пожара автоматически высылаются основные пожарные автомобили, автомобили целевого применения и специальные пожарные автомобили.

В соответствии с ГОСТ Р 53247–2009 (Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения) и Типажом пожарных автомобилей на 2011–2015 гг. пожарные автомобили целевого применения предназначены для тушения пожаров на нефтебазах, предприятиях лесоперерабатывающей, химической, нефтехимической промышленности, на объектах энергетики и других специальных объектах. К данной группе относятся: автомобили пенного тушения (АПТ), автомобили порошкового тушения (АП), автомобили комбинированного тушения (АКТ), автомобили газового тушения (АГТ), автомобили газовойдухного тушения (АГВТ), пожарная автотасосная станция (ПНС), пожарный пеноподъемник (ППП), пожарный пеноподъемник с цистерной (ПППЦ), пожарный аэродромный автомобиль (АА), многоцелевой пожарно-спасательный аэродромный автомобиль (ААТ) [12].

Модельный ряд автомобилей пенного тушения в настоящее время составляют автомобили на шасси грузовых автомобилей с колесной формулой 6×6 или 6×4, оборудованных емкостью для пенообразователя объемом от 4 до 8 м<sup>3</sup> и насосной установкой производительностью от 40 до 70 л/с. При этом от-

личительной особенностью данных автомобилей является наличие увеличенного количества приборов для подачи воздушно-механической пены.

Проанализировав типаж пожарных автомобилей, можно сделать вывод, что в настоящее время практически все автомобили со специальными средствами тушения имеют аналоги в виде пожарных прицепов или пожарных контейнеров, за исключением автомобилей пенного и газовойдухного тушения (см. таблицу) [12].

Стоит отметить, что использование пожарных контейнеров и прицепов оправдано как по стоимости, так и по эксплуатационным затратам. При этом с учетом специфики использования автомобилей пенного тушения время, затраченное на погрузку контейнера на борт автомобиля или подсоединение прицепа, не влияет на качество подготовки и проведения пенной атаки по тушению горящего резервуара.

ООО “НПО СОПОТ” выпущен автономный пожарный модуль контейнерного типа с установкой комбинированного тушения пожара УКТП “ПУРГА-300” (рис. 1), который по своим характеристикам сравним с автомобилем пенного тушения. Вслед за ним был разработан автомобиль твердопенного тушения (рис. 2), не имеющий аналогов в мире. Данный автомобиль предназначен для доставки к месту пожара личного состава, пожарно-технического вооружения, огнетушащих веществ и подачи их на тушение пожаров классов А и В. Особенностью данного автомобиля является то, что он может тушить пожары с использованием различных ОТВ — быстротвердеющей пены низкой кратности, воды, воздушно-механической пены низкой и средней кратности.

Тактические возможности данного автомобиля позволяют обеспечить:



Рис. 1. Автономный пожарный модуль контейнерного типа с УКТП "ПУРГА-300"



Рис. 2. Автомобиль твердопеного тушения

- тушение пожаров быстротвердеющей пеной с расстояния до 45 м;
- создание заградительных полос и заградительных экранов путем нанесения быстротвердеющей пены;
- тушение различных пожаров водой и воздушно-механической пеной с установкой (без установки) автомобиля на водоисточник;
- совместную работу с другими пожарными автомобилями [10].

Анализ и обобщение данных по использованию основных пожарных автомобилей целевого применения за период 2005–2014 гг. позволяет сделать вывод, что автомобили пенного тушения наиболее востребованы. Частота их использования при тушении пожаров в разы выше по сравнению с автомобилями порошкового тушения, комбинированного тушения, газовойдуного тушения, пожарными насосными станциями (рис. 3). Одновременно с этим анализ показывает, что частота использования основных пожарных автомобилей целевого применения ежегодно снижается (рис. 4). Это можно объяснить уменьшением общего количества пожаров в Российской Федерации (рис. 5) [13].

В настоящее время на кафедре пожарной и аварийно-спасательной техники Воронежского инсти-

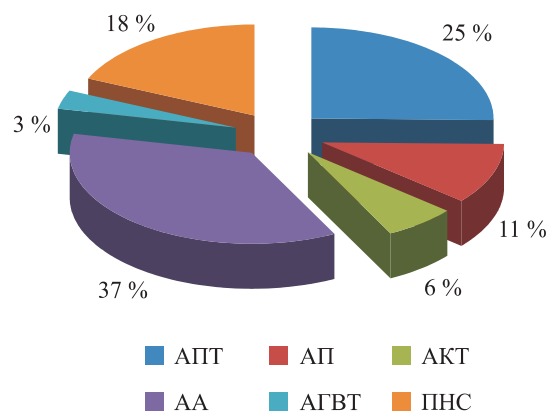


Рис. 3. Частота использования автомобилей целевого применения за период 2005–2014 гг.

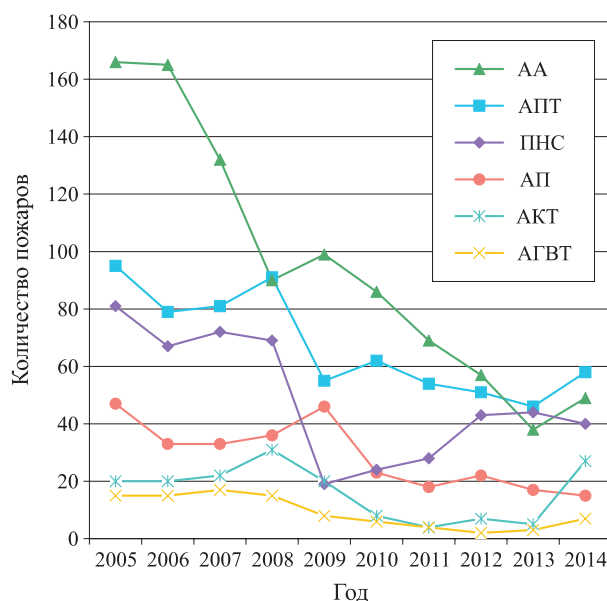


Рис. 4. Количество пожаров, тушение которых проводилось с использованием автомобилей целевого применения, за период 2005–2014 гг.

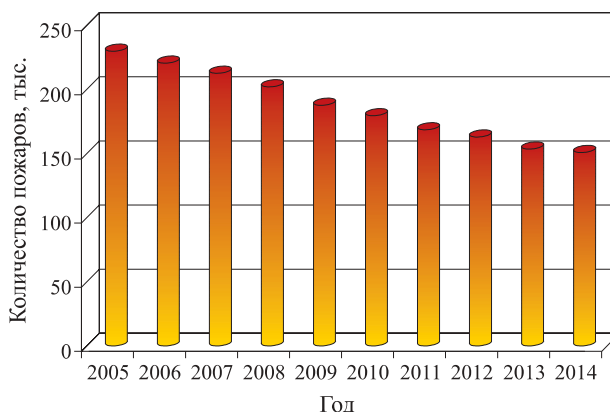


Рис. 5. Динамика уменьшения числа пожаров в Российской Федерации за период 2005–2014 гг.

тута ГПС МЧС России проводится научно-исследовательская работа по разработке конструкции авто-

мобиля контейнерной доставки для пожаротушения пеной на основе структурированных частиц. В рамках этой работы рассматривается также вопрос совершенствования технологии применения пенного

пожаротушения при тушении нефти и нефтепродуктов. Выполнение данной работы позволит повысить уровень защищенности объектов по хранению нефти и нефтепродуктов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. — М. : ГУ ГПС – ВНИИПО – МИПБ, 1999. — 47 с.
2. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
3. Бастриков Д. Л. Комбинированный способ тушения пожаров автомобильных бензинов европейского стандарта в наземных вертикальных стальных резервуарах : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2013. — 23 с.
4. Tafreshi A. M., Di Marzo M. Foams and gels as fire protection agents // Fire Safety Journal. — November 1999. — Vol. 33, Issue 4. — P. 295–305. DOI: 10.1016/s0379-7112(99)00031-4.
5. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 335 с.
6. Magrabi S. A., Dlugogorski B. Z., Jameson G. J. A comparative study of drainage characteristics in AFFF and FFFP compressed-air fire-fighting foams // Fire Safety Journal. — February 2002. — Vol. 37, Issue 1. — P. 21–52. DOI: 10.1016/s0379-7112(01)00024-8.
7. Lattimer B. Y., Trelles J. Foam spread over a liquid pool // Fire Safety Journal. — June 2007. — Vol. 42, Issue 4. — P. 249–264. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.004.
8. Lattimer B. Y., Hanauska Ch. P., Scheffey J. L., Williams F. W. The use of small-scale test data to characterize some aspects of fire fighting foam for suppression modeling // Fire Safety Journal. — March 2003. — Vol. 38, Issue 2. — P. 117–146. DOI: 10.1016/s0379-7112(02)00054-1.
9. Кокорин В. В., Романова И. Н., Хафизов Ф. Ш. Проблемы эффективного тушения пожаров вертикальных стальных резервуаров в слой горючего // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. — 2012. — № 3. — С. 255–260. URL: [http://ogbus.ru/authors/Kokorin/Kokorin\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Kokorin/Kokorin_1.pdf) (дата обращения: 20.02.2016).
10. Официальный сайт ООО “НПО СОПОТ”. URL: <http://www.sopot.ru> (дата обращения: 10.02.2016).
11. Твердая пена против огня : интервью с Александром Виноградовым. URL: <http://rusplt.ru/sdelano-russkimi/tverdaya-pena-protiv-ognya-17905.html> (дата обращения: 10.02.2016).
12. Типаж пожарных автомобилей на 2011–2015 гг. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2011. — 71 с.
13. Пожары и пожарная безопасность : статистические сборники за 2005–2014 гг. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2005–2014.

*Материал поступил в редакцию 28 марта 2016 г.*

**Для цитирования:** Калач А. В., Шарапов С. В., Гусаков А. Н. Исследование статистики применения пожарной техники для тушения пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 48–54. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.48-54.

English

## STUDY OF STATISTICS FIRE EQUIPMENT FOR FIRE EXTINGUISHING

**KALACH A. V.**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Deputy Head of the Institute for Research, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a\_kalach@mail.ru)

**SHARAPOV S. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Institute, Research Institute for Advanced Research and Innovation in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Quay, 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation)

**GUSAKOV A. N.**, Senior Lecturer of Fire Safety Technological Processes Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: gusakov\_an@vigps.ru)

## ABSTRACT

The article raises a topical issue — the issue of improving extinguishing oil fires and oil in tank farms, despite the progress made in fire safety for oil and petroleum products storage tanks are one of the most dangerous objects. According to statistical data the majority of fires at these facilities is quenched by means of a mobile fire fighting equipment, and the main fire extinguishing agent is air-mechanical foam of low and medium ratio, extinguishing properties are well understood and known.

The world's leading manufacturers are constantly working to develop and search for fire extinguishing substances, methods and means of their delivery in fires on oil products storage and processing facilities.

Not so long ago, in our country there is a new type of foam based on structured silica particles “solid foam” becomes relevant question is a comprehensive study of the effectiveness of extinguishing agents, methods and ways of delivering the fire and feed it to put out fires of oil and petroleum products.

In the course of analyzing the use of the intended use, the frequency of use of foam extinguishing vehicles in the past 10 years cars is 25 % of the use of the intended use of vehicles, in this case against the background of reducing the number of fires found that these cars are still in demand and frequency of their use does not decrease much.

In addition, the analysis of regulations governing the classification and the main types of fire intended use of vehicles leads to the conclusion about the absence of foam extinguishing vehicles in container design and chassis trailers.

All this allows us to state a fact necessary to create and implement, new foam extinguishing car models with the use of foam on the basis of structured silica particles, what will increase the fire safety of oil and gas facilities, the effectiveness of actions of fire-rescue units to extinguish fires by improving the characteristics of the extinguishing agent.

**Keywords:** foaming agent; air-mechanical foam; “rigid foam”; foam extinguishing car; fire container; fire trailer.

## REFERENCES

1. *Guide to extinguish oil and petroleum products in tanks and tank farms*. Moscow, Head Department of State Fire Service – All-Russian Research Institute for Fire Protection – Moscow Institute of Fire Safety Publ., 1999. 47 p. (in Russian).
2. 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.
3. Batrikov D. L. *Kombinirovannyi sposob tusheniya pozharov avtomobilnykh benzinov yevropeyskogo standarta v nazemnykh vertikalnykh stalnykh rezervuarakh: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Combined method of extinguishing fires of motor gasoline in the European standard terrestrial vertical steel tanks. Abstr. cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2013. 23 p.
4. Tafreshi A. M., Di Marzo M. Foams and gels as fire protection agents. *Fire Safety Journal*, November 1999, vol. 33, issue 4, pp. 295–305. DOI: 10.1016/s0379-7112(99)00031-4.
5. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foams. Structure, properties, application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 335 p.
6. Magrabi S. A., Dlugogorski B. Z., Jameson G. J. A comparative study of drainage characteristics in AFFF and FFFP compressed-air fire-fighting foams. *Fire Safety Journal*, February 2002, vol. 37, issue 1, pp. 21–52. DOI: 10.1016/s0379-7112(01)00024-8.
7. Lattimer B. Y., Trelles J. Foam spread over a liquid pool. *Fire Safety Journal*, June 2007, vol. 42, issue 4, pp. 249–264. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.004.
8. Lattimer B. Y., Hanauska Ch. P., Scheffey J. L., Williams F. W. The use of small-scale test data to characterize some aspects of fire fighting foam for suppression modeling. *Fire Safety Journal*, March 2003, vol. 38, issue 2, pp. 117–146. DOI: 10.1016/s0379-7112(02)00054-1.
9. Kokorin V. V., Romanova I. N., Khafizov F. Sh. Problemy effektivnogo tusheniya pozharov vertikalnykh stalnykh rezervuarov v sloy goryuchego [The problems of effective fire suppression of vertical steel storage tanks in the fuel layer]. *Neftegazovoye delo. Elektronnyy nauchnyy zhurnal — Oil and Gas Business. Electronic Scientific Journal*, 2012, no 3, pp. 261–266. Available at: [http://ogbus.ru/eng/authors/Kokorin/Kokorin\\_1e.pdf](http://ogbus.ru/eng/authors/Kokorin/Kokorin_1e.pdf) (Accessed 20 February 2016).

10. *The official website of the Science Production Joint of the Contemporary Fire Fighting Technologies (SOPOT)*. Available at: <http://www.sopot.ru> (Accessed 10 February 2016) (in Russian).
11. *Tverdaya pena protiv ognya. Intervyu s Aleksandrom Vinogradovym* [The solid foam against fire. Interview with Alexander Vinogradov]. Available at: <http://rusplt.ru/sdelano-russkimi/tverdaya-pena-protiv-ognya-17905.html> (Accessed 10 February 2016).
12. *Description fire trucks 2011–2015*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2011. 71 p. (in Russian).
13. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost. Statisticheskiye sborniki za 2005–2014 gg.* [Fires and fire safety. Statistical yearbooks for 2005–2014]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2005–2014.

**For citation:** Kalach A. V., Sharapov S. V., Gusakov A. N. Issledovaniye statistiki primeneniya pozharnoy tekhniki dlya tusheniya pozharov [Study of statistics fire equipment for fire extinguishing]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 48–54. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.48-54.



# ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



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

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

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

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

Для заказа книги пишите нам по адресу:

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

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

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



**securika**  
St. Petersburg



0+

Санкт-Петербург

**8–10  
ноября  
2016**

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



Технические  
средства  
обеспечения  
безопасности



Системы  
охранного  
телевидения  
и наблюдения



Системы и средства  
обеспечения  
пожарной  
безопасности



Системы  
связи  
и оповещения



Технические средства  
и программное  
обеспечение  
для защиты информации

РЕКЛАМА

Организаторы:



primexpo



+7 (812) 380 6009/00  
security@primexpo.ru  
securika-spb.ru

Забронируйте стенд  
**securika-spb.ru**

**И. С. ВОЙТКОВ**, аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: i.voytkov@ges.tomsk.ru)

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

**О. В. ВЫСОКОМОРНАЯ**, канд. физ.-мат. наук, инженер-исследователь (постдок) кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: vysokomornaja@tpu.ru)

**А. О. ЖДАНОВА**, ассистент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zhdanovaao@tpu.ru)

УДК 536.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТУШЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ОЧАГОВ ПОЖАРА РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВО ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВЕ КАПЕЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ ВОДЫ

Проведены экспериментальные исследования процессов тушения модельных очагов пожара распределенными во времени и пространстве капельными потоками воды. Использована диагностическая система на базе высокоскоростного (до  $10^6$  кадров в секунду) и кросскорреляционного программно-аппаратного комплекса, реализующая панорамные оптические методы диагностики потоков (PIV, PTV, IPI, SP). Показана возможность тушения модельных очагов, соответствующих низовому и верховому лесным пожарам, с использованием системы, генерирующей распределенные во времени и пространстве капельные потоки воды. Установлены оптимальные сочетания параметров распыления (размеры капель в потоке и комбинации распылительных форсунок), обеспечивающие наименьшие времена тушения модельных очагов и объемы затраченной на тушение воды.

**Ключевые слова:** модельный очаг пожара; высокотемпературные газы; капли воды; тушение; испарение.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.56-65

### Введение

Лесные пожары традиционно считаются одним из самых опасных видов возгораний, причиняющих наибольшие убытки экономике государств [1–4]. В результате низовых и верховых лесных пожаров ежегодно в нашей стране выгорают тысячи гектаров леса, попадают под угрозу исчезновения целые экосистемы. Кроме всего прочего, происшествия последних лет в Хакасии, Забайкальском крае и Бурятии показали, насколько опасным и непредсказуемым может быть лесной пожар. Огонь быстро распространялся по надпочвенному покрову, охватывал жилые и нежилые постройки, что привело к выгоранию нескольких жилых районов.

Самым распространенным методом локализации (предотвращения дальнейшего распространения) лесного пожара по-прежнему остается сброс больших объемов тушащей среды с авиационного средства [5, 6]. Однако, как это традиционно подчеркивается специалистами [2–6], эффективность таких способов борьбы с пожарами невысока: более 95 % сбрасываемой при этом жидкости расходуется впустую. Отсюда очевидно, что поиск эффективных способов распыления тушащей жидкости и оптимальных механизмов тушения является актуальной задачей. При этом важно опираться на результаты проведенных ранее теоретических и экспериментальных исследований (в частности, [7–14]),

описывающих основные закономерности движения и испарения распыленных капельных потоков в среде высокотемпературных продуктов сгорания.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование основных характеристик движения распределенных во времени и пространстве капельных потоков воды через модельные очаги, соответствующие низовому и верховому лесным пожарам.

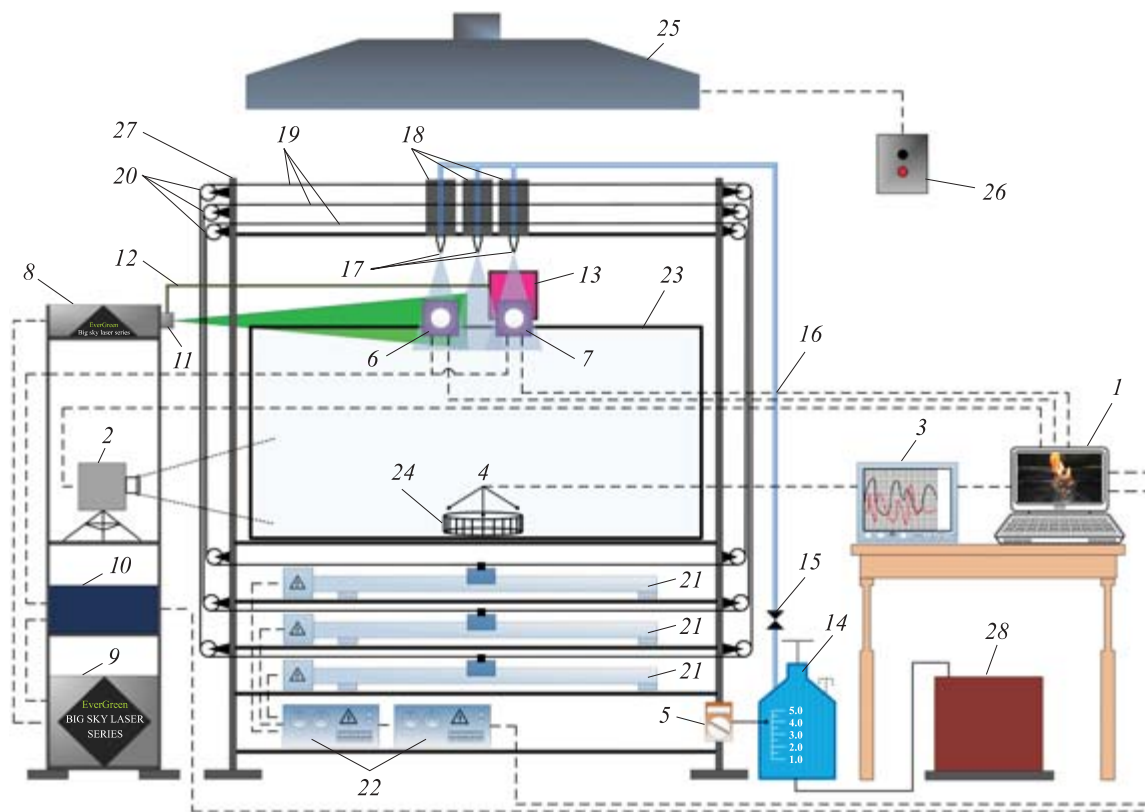
### Методика экспериментальных исследований

При проведении исследований по тушению модельных очагов лесных горючих материалов (ЛГМ) применялся стенд, схема которого приведена на рис. 1. По основным элементам он аналогичен использованным при проведении опытов, описанных в [11, 12], и представляет собой систему тушения модельных очагов возгорания класса А (по классификации Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [15]). Внутри металлического каркаса 27 устанавливался специальный резервуар 23 (см. рис. 1), выполненный в форме па-

раллелепипеда со стенками из оргстекла толщиной 5 мм. Размеры резервуара: ширина — 1,2 м; глубина — 0,6 м; высота — 0,75 м. Во избежание оплавления дно и стенки резервуара дополнительно покрывались листовым асбестом толщиной 10 мм. Резервуар служил для размещения в нем модельных очагов пламени 24.

Для видеорегистрации тушения модельных очагов пламени ЛГМ использовалась высокоскоростная CMOS-видеокамера “Phantom V411” 2 (максимальный размер изображения 1280×1280 пикселей, максимальная частота съемки  $6 \cdot 10^5$  кадров в секунду), которая позволяла регистрировать время тушения  $t_e$  модельных очагов с точностью до 0,001 с.

Для создания потока распыленной жидкости использовалась группа распылительных форсунок 17, генерирующих полидисперсные капельные потоки. Размеры (радиусы) генерируемых форсунками каплей жидкости  $R_d$  (мм) варьировались в широком диапазоне —  $R_d = 0,02 \div 0,35$  мм. Для подачи воды на распылительные форсунки применялась система, состоящая из баллона 14 с тушащей жидкостью (с внут-



**Рис. 1.** Схема экспериментального стенда: 1 — рабочая станция (персональный компьютер — ПК); 2 — высокоскоростная видеокамера; 3 — регистратор многоканальный технологический (PMT); 4 — термодатчики типа К; 5 — цифровой измеритель температуры в комплекте с термодатчиками типа L; 6, 7 — кросскорреляционные видеокамеры; 8 — двойной импульсный Nd:YAG лазер; 9 — генератор лазерного излучения; 10 — синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 11 — делитель лазерного луча; 12 — оптический световод; 13 — диффузный экран; 14 — емкость с жидкостью; 15 — запорный вентиль; 16 — канал подачи жидкости; 17 — распылительные форсунки; 18 — каретки для закрепления форсунок; 19 — тросы; 20 — роликовые блоки; 21 — моторизованные координатные механизмы; 22 — блоки питания координатных механизмов; 23 — резервуар; 24 — подложка с ЛГМ; 25 — нагнетательная система; 26 — пульт включения/выключения нагнетательной системы; 27 — металлический каркас стенда; 28 — нагревательная камера

ренным давлением  $P = 50\div300$  кПа), запорного вентиля 15 и термостойкого канала для подачи жидкости 16. Для каждого диапазона дисперсности в проведенных экспериментах варьировались следующие параметры: удельный расход жидкости форсункой  $\mu_w$  (л/с); скорость движения капельного потока  $U_d$  (м/с); средний размер капель в распыленном потоке  $R_d$ .

В качестве модельных очагов возгорания класса А использовались очаги, соответствующие верховому и низовому лесным пожарам. Для создания очагов, соответствующих низовому лесному пожару, использовался металлический поддон размерами  $\Pi \times \Gamma \times B \approx 0,35 \times 0,2 \times 0,05$  м, заполненный смесью ЛГМ (% масс.): листья березы — 25; хвоя сосны — 15; ветки лиственных пород деревьев — 60. Очаги, соответствующие верховому лесному пожару, создавались из брусков сосны сечением  $0,01\text{--}0,02$  м<sup>2</sup> и длиной  $0,1\text{--}0,15$  м. Модельные очаги конструировались по аналогии с методикой, описанной в ГОСТ Р 51057–2001. Высота модельных очагов варьировалась в диапазоне  $0,02\text{--}0,08$  м.

Навески ЛГМ предварительно подсушивались в течение 3–5 сут при температуре около 300 К. Непосредственно перед проведением цикла экспериментов осуществляли контрольный замер влажности материалов методом термической сушки. Для этих целей исследуемый образец ЛГМ измельчали, предварительно взвесив на весах, и затем помещали в сушильную печь с температурой около 370–375 К на 2–3 ч. Далее образец вынимали из печи и подвергали охлаждению, после чего вторично взвешивали. Влажность образца ЛГМ  $\gamma_f$  (%) определялась по формуле:  $\gamma_f = (m_{fw} - m_{fd}) / m_{fw} \cdot 100$  (где  $m_{fw}$ ,  $m_{fd}$  — масса образца ЛГМ соответственно до и после сушки, г). Влажность  $\gamma_f$  используемых типов ЛГМ составляла:

- листьев березы — 5–8 %;
- хвои сосны — 7–10 %;
- веток лиственных пород деревьев (береза, осина) — 10–14 %;
- брусков сосны — 12–15 %.

Для тушения навесок ЛГМ применялась дистиллированная вода (по ГОСТ 6709–72).

Тушение модельных очагов обеспечивалось распылительными форсунками 17, установленными в верхней части экспериментального стенда (см. рис. 1). Для закрепления распылительных форсунок использовались специальные каретки 18 (снабженные роликовым механизмом), имеющие одну степень свободы и способные осуществлять равноускоренное поступательное перемещение вдоль установленных по всей ширине резервуара направляющих реек. Для перемещения распылительных форсунок стенд оснащен тремя моторизованными координат-



Рис. 2. Изображение установленных на экспериментальном стенде моторизованных координатных механизмов (обозначения см. на рис. 1)

ными механизмами 21, установленными в нижней части экспериментального стенда (рис. 2). Каждый координатный механизм состоял из модуля линейного перемещения, сервопривода с соединительной муфтой и блока контроллера (для управления перемещением). Подвижная площадка каждого координатного механизма посредством троса 19, пропущенного через четыре стационарно закрепленных на стенде роликовых блока 20, соединялась с кареткой 18 соответствующей форсунки 17. Полный ход форсунок на экспериментальном стенде составлял около 0,5 м. Управление координатными механизмами осуществлялось с рабочей станции 1 с использованием программного обеспечения «МотоМастер». При помощи ПО для каждого координатного механизма регулировались такие параметры, как скорость перемещения площадки (и, соответственно, распылительной форсунки)  $U_p$  (м/с), а также ее начальное и конечное положение. Скорость  $U_p$  в проведенных экспериментах изменялась в диапазоне  $0,01\text{--}0,15$  м/с.

Высоту закрепления  $h_p$  (м) распылительных форсунок 17 относительно дна резервуара 23 регулировали вручную (посредством резьбового соединения с применением нескольких вертикально установленных шпилек) в диапазоне  $0,1\text{--}1,2$  м.

Весь цикл экспериментов можно разделить на два этапа. На первом регистрировали время полно-



**Рис. 3.** Внешний вид модельных очагов, соответствующих низовому (а) и верховому (б) лесным пожарам (в процессе горения)

го выгорания модельных очагов  $t_b$  (с) при отсутствии процесса тушения. Для каждого типа модельного очага 24 проводили не менее чем по 20 экспериментов. На втором этапе реализовывалось тушение модельных очагов посредством поочередного последовательного перемещения над очагом форсунок, генерирующих капли разной дисперсности. Варьировались следующие параметры: высота установки форсунок  $h_p$ ; скорость перемещения форсунок  $U_p$ ; размеры генерируемых капель  $R_d$ ; количество (комбинация) форсунок, задействованных в тушении.

После зажигания модельного очага (рис. 3) одновременно запускались процессы перемещения первой форсунки и распыления тушащей жидкости. В момент времени (фиксирувался при анализе видеозаписи камеры 2), когда факел распыла первой форсунки выходил за пределы области горения более чем на 30 %, инициировалось перемещение и работа следующей форсунки (при выходе факела распыла первой форсунки за пределы области горения более чем на 60–70 % движение и распыление прекращались) и т. д. В момент, когда последняя форсунка завершала все описанные действия, процесс повторялся: осуществлялись распыл и перемещение форсунок в обратном направлении в соответствии с ранее описанной схемой. Данная процедура продолжалась до полного тушения модельного очага.

После завершения каждого отдельного эксперимента выполнялось сопоставление значений времен  $t_e$  с ранее установленными временами  $t_b$ ; при выполнении условия  $t_e \ll t_b$  считалось, что тушение достигнуто. Дополнительно для всех проведенных экспериментов осуществлялся расчет объема воды  $V_e$  (л), затраченной на тушение модельного очага ЛГМ:

$$V_e = \mu_{w1} t_{p1} + \mu_{w2} t_{p2} + \dots + \mu_{wn} t_{pn},$$

где  $\mu_{w1}, \mu_{w2}, \mu_{wn}$  — удельный расход воды соответствующей распылительной форсунки, л/с;

$t_{p1}, t_{p2}, t_{pn}$  — суммарное время работы соответствующей распылительной форсунки в эксперименте, с.

Температура воды  $T_w$  (К) с использованием системы нагревательных камер 28 (см. рис. 1) варьировалась в экспериментах в диапазоне 300–350 К и регистрировалась хромель-копелевой термопарой типа L (диапазон измеряемых температур 233–573 К, допустимое отклонение  $\Delta = 2,5$  К) в комплекте с цифровым измерителем температуры 5 (см. рис. 1). Максимальные случайные погрешности определения  $T_w$  составили  $\pm 3$  К.

Температура продуктов сгорания  $T_f$  (К) используемых модельных очагов контролировалась с помощью трех размещенных в окрестностях очага хромель-алюмелевых термопар 4 (диапазон измеряемых температур 273–1373 К, систематическая погрешность  $\pm 3$  К) и составляла в проведенных экспериментах 500–900 К. Максимальные случайные погрешности измерения  $T_f$  не превышали  $\pm 30$  К. Фиксация показаний термоэлектрических преобразователей осуществлялась многоканальным регистратором РМТ 59М 3, соединенным с рабочей станцией 1. Систематические погрешности измерения  $T_w$  и  $T_f$  не превышали 2,5 %.

Для определения и контроля параметров распыла (размеров и скоростей генерируемых форсунками капель, а также формы факела распыления) стенд оснащался комплектом устройств для реализации измерений посредством панорамных оптических методов “Particle Image Velocimetry” (PIV) [16, 17] и “Shadow Photography” (SP) [18, 19]. Их применение позволяло одновременно (не прибегая к дополнительным экспериментам) регистрировать скорости движения  $U_d$  и размеры  $R_d$  генерируемых капель. В используемую систему диагностики потоков входили следующие основные компоненты (см. рис. 1):

- две кросскорреляционные CCD-видеокамеры “IMPERX IGV B2020M” 6 и 7 (формат изображения 2048×2048 пикселей; кадровая частота не менее 1,5 Гц; минимальная задержка между двумя последовательными кадрами 5 мкс);
- двойной импульсный Nd:YAG лазер “QUANTEL EverGreen 70” 8 с генератором излучения 9 (длина волны 532 нм, максимальная энергия в импульсе 74 мДж, длительность импульса не более 12 нс, частота повторений не более 15 Гц);
- синхронизирующий процессор 10 (дискретизация сигналов не более 10 нс);
- диффузный экран 13 с закрепленным диффузором в комплекте с оптическим световодом 12;
- делитель лазерного излучения 11 с оптикой для формирования лазерного “ножа”.

Скорости  $U_d$  регистрировались перед началом проведения эксперимента с использованием пано-

рамного оптического метода “трассерной” визуализации потоков PIV [16, 17] (по аналогии с работами [11, 12]). При оценке размеров  $R_d$  использовался панорамный оптический метод теневой фотографии SP [18, 19]. Систематические погрешности определения  $R_d$  составили  $\pm(7 \cdot 10^{-6})$  м,  $t_e$  и  $t_b$  —  $\pm 0,5$  с,  $V_e$  —  $\pm(5 \cdot 10^{-4})$  л; максимальные случайные погрешности определения скоростей капель  $U_d$  — 3,4 %.

## Результаты и их обсуждение

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить особенности тушения модельных очагов, соответствующих низовому и верховому лесным пожарам. Для оценки возможности использования предлагаемой схемы тушения в реальных условиях (исходя из реальных высот пожаров) вычислялись эквивалентные высоты установки распылительных устройств над очагом лесного пожара. При подсчете эквивалентных высот использовались следующие данные: максимальная высота пламени низового лесного пожара 2,5 м, верхового — 15 м. Результаты пересчета параметров лабораторного эксперимента для соответствия реальным пожарам приведены в таблице.

На рис. 4 представлены зависимости времени  $t_e$  от высоты распыления (использовалась схема с перемещающимися над очагом горения распылительными форсунками) при тушении модельных очагов, соответствующих низовому лесному пожару. При проведении исследований опробованы различные комбинации распыла (см. рис. 4). В результате установлено, что наибольшие времена тушения (200–380 с) и объемы затраченной на тушение воды (0,108–0,182 л) соответствуют схеме, при которой используется одна распылительная форсунка с размерами генерируемых капель  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм. Максимальные зна-

чения  $t_e$  и  $V_e$  при такой схеме тушения объясняются тем, что при  $R_d < 0,15$  мм некоторая часть капельного потока все же подвергается развороту и последующему уносу восходящими продуктами сгорания модельного очага [11]. За счет этого воздействие на очаг пожара таким капельным потоком при наличии уноса капель (как правило, во время пламенного горения ЛГМ) малоэффективно.

Установлено, что значения времен  $t_e$  снижаются с ростом размеров генерируемых форсункой капель. Так, при  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм значения  $t_e$  составили 148–210 с. Очевидно, такие результаты, помимо роста размера генерируемых капель (что способствует проникновению их в зону горения), связаны с увеличением расхода воды форсункой (плотности орошения модельного очага).

Минимальные значения  $t_e$  и  $V_e$  в проведенных экспериментах зафиксированы при тушении модельного очага посредством поочередного перемещения форсунок, генерирующих капли размером  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм и  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм. Времена тушения при таком способе распыла составили  $t_e = 45 \div 110$  с, объемы воды  $V_e = 0,03 \div 0,055$  л. Такой результат можно объяснить следующим образом. Капельный поток, генерируемый форсункой с более крупным распылом ( $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм), сбивает пламя за счет охлаждения поверхности горящего слоя ЛГМ: капли размером более 0,16–0,2 мм преодолевают сопротивление пламени и продуктов сгорания, достигают горячей поверхности ЛГМ и образуют пленку, отводя значительную долю тепла на испарение

Таблица параметров модельных очагов, соответствующих низовому и верховому лесным пожарам

| Высота пламени, м, верхового/низового пожара |                  | Высота сброса жидкости, м, при верховом/низовом пожаре |                             | Скорость перемещения, м/с, при верховом/низовом пожаре |                                          |
|----------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| модельного очага                             | реального пожара | на стенде                                              | в условиях реального пожара | форсунок на стенде                                     | авиасредства в условиях реального пожара |
| 0,3/0,4                                      | 2,5/15           | 0,8                                                    | 6,67/30,00                  | 0,1                                                    | 0,83/3,75                                |
|                                              |                  | 0,9                                                    | 7,50/33,75                  |                                                        |                                          |
|                                              |                  | 1,0                                                    | 8,33/37,50                  |                                                        |                                          |
|                                              |                  | 1,1                                                    | 9,17/41,25                  |                                                        |                                          |
|                                              |                  | 1,2                                                    | 10,00/45,00                 |                                                        |                                          |
|                                              |                  | 1,3                                                    | 10,83/48,75                 |                                                        |                                          |
|                                              |                  | 1,4                                                    | 11,67/52,50                 |                                                        |                                          |

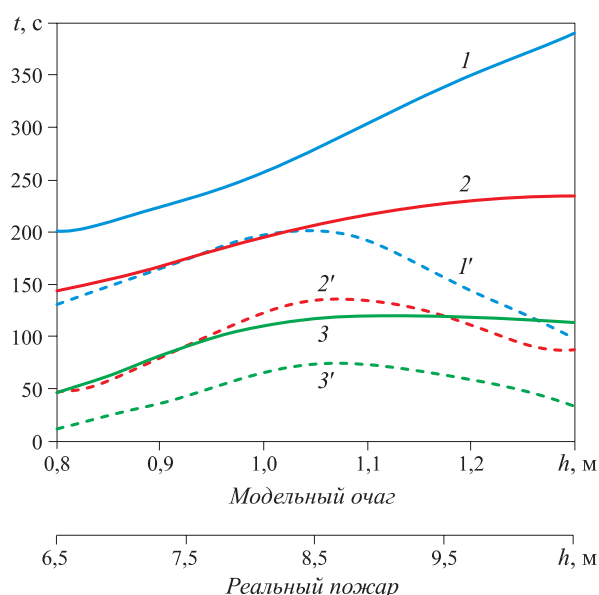


Рис. 4. Зависимости характерных времен тушения  $t_e$  модельных очагов, соответствующих низовому лесному пожару, от высоты установки распылительных форсунок  $h_p$  для случая полного тушения пламени (1–3) и его локализации (1'–3'): 1, 1' —  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм; 2, 2' —  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм; 3, 3' —  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм →  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм

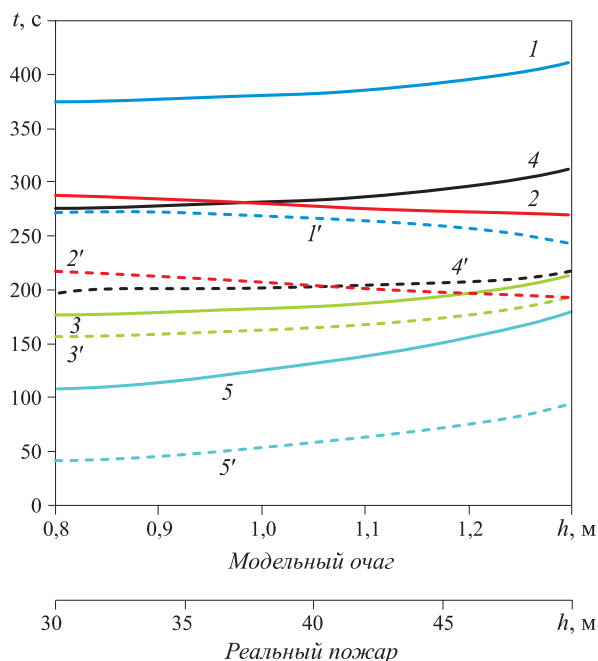
воды (спустя примерно 15–20 с в окрестностях модельного очага зафиксировано снижение  $T_f$  на 50–80 К). Движущийся следом мелкодисперсный ( $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм) капельный поток активно испаряется в области пламени, а образовавшийся в результате этого водяной пар постепенно вытесняет из зоны горения окислитель и продукты газификации ЛГМ. С каждым последующим циклом движения форсунок эффект подавления пламени усиливается, что в итоге приводит к полному затуханию модельного очага.

Аналогичные закономерности установлены при тушении модельного очага, соответствующего верховому лесному пожару (рис. 5). Из рисунка видно, что при тушении модельного очага верхового пожара наибольшие времена (370–400 с) также соответствуют схеме, при которой используется только одна форсунка, генерирующая капельный поток с характерными размерами элементов  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм; объемы затраченной на тушение воды при этом составили  $V_e = 0,207 \div 0,23$  л. Наименьшие значения  $t_e$  и  $V_e$  (110–165 с и 0,135–0,204 л) характерны для схемы, при которой тушение достигалось путем поочередного перемещения форсунок, генерирующих капли размером  $R_d = 0,12 \div 0,35$  мм и  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм.

Необходимо выделить также еще одну общую особенность, зарегистрированную в проведенных экспериментах: при увеличении высоты установки распылительных форсунок в диапазоне 0,8–1,3 м наблюдался рост времен  $t_e$  в среднем от 45 до 100 % (см. рис. 4 и 5). При этом возрастали также объемы воды, затраченной на подавление горения модельных очагов. Такой результат можно объяснить двумя причинами. Во-первых, капли воды, двигаясь в области продуктов сгорания, постепенно теряли скорость за счет сопротивления встречного газового потока. Во-вторых, генерируемый форсунками капельный поток имел форму конуса, расширяющегося по мере удаления от точки распыла, что при постоянном удельном расходе воды приводило к уменьшению плотности орошения модельного очага. Данные особенности должны учитываться при прогнозировании времен и необходимых объемов воды, требуемых для тушения пожаров.

Следует также отметить, что, хотя задача испытаний заключалась в оценке эффективности использования такой схемы орошения при ликвидации больших верховых и низовых пожаров, очевидно, что аналогичная схема может быть также рекомендована к использованию при ликвидации возгораний в помещениях.

Можно выделить неочевидное преимущество такого подхода к тушению пожара в помещениях. Все известные оросительные устройства генерируют полидисперсный капельный поток с переменной по сечению струи дисперсностью (как правило, с неко-



**Рис. 5.** Зависимости характерных времен тушения  $t_e$  модельных очагов, соответствующих верховому лесному пожару, от высоты установки распылительных форсунок  $h_p$  для случая полного тушения пламени (1–5) и его локализации (1'–5'): 1, 1' —  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм; 2, 2' —  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм; 3, 3' —  $R_d = 0,12 \div 0,35$  мм; 4, 4' —  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм →  $R_d = 0,02 \div 0,12$  мм; 5, 5' —  $R_d = 0,12 \div 0,35$  мм →  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм

торым увеличением размеров капель при движении от центра струи к ее периферии). Это, в свою очередь, приводит к неравномерной плотности орошения. Данная проблема традиционно решается путем установки одновременно нескольких оросительных устройств. Однако это ведет к дополнительным затратам на комплектацию системы пожаротушения, поэтому при ликвидации возгорания с использованием традиционного подхода (стационарное размещение форсунок) для воздействия на разные участки пожара, как правило, применяется струя различной дисперсности. Вследствие этого при ликвидации возгораний в помещениях зачастую наблюдается затухание возгорания на одних участках из-за чрезмерного залива очага при продолжении горения на других участках. Данный факт подтверждается результатами экспериментов. Так, при средних размерах (радиусах) капель в потоке  $R_d = 0,08 \div 0,25$  мм в процессе тушения очага, соответствующего низовому лесному пожару (см. рис. 3,а), посредством стационарно закрепленной над ним на высоте 0,8 м форсунки времена  $t_e$  в среднем составили 260–270 с. При постоянном поступательном перемещении форсунки над очагом на той же высоте  $t_e = 145 \div 150$  с.

Полученные экспериментальные данные подтверждают целесообразность использования нескольких последовательных факелов орошения для тушения лесных и крупных городских пожаров.

## Выводы

1. Проведена оценка эффективности тушения модельных очагов, соответствующих низовому и верховому лесным пожарам, с использованием системы, генерирующей распределенные во времени и пространстве капельные потоки воды.

2. Определены особенности механизма тушения модельных очагов и проанализировано влияние на данный процесс высоты установки распылительных форсунок.

3. Установлены оптимальные параметры распыления (размеры капель в потоке и комбинации рас-

пылительных форсунок), обеспечивающие наименьшие времена тушения модельных очагов и объемы затраченной на тушение воды.

4. Минимальные времена тушения модельного очага низового лесного пожара составили 45 с, объемы затраченной на тушение воды — 0,03 л. Для модельного очага верхового лесного пожара те же значения составили соответственно 110 с и 0,135 л.

\*\*\*

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 14-39-00003).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2013 году : доклад МЧС России. — М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014. — 344 с.
2. Дешевых Ю. И. За год пожары уничтожают в России целый город со всей инфраструктурой // Безопасность. Достоверность. Информация. — 2010. — № 3(89). — С. 10–11.
3. Яницкий О. Н. Пожары 2010 г. в России: Экосоциологический анализ // Социологические исследования. — 2011. — № 3. — С. 4–12.
4. 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.
5. Москвиллин Е. А. Применение авиации для тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 89–92.
6. Коршунов Н. А. Авиационное тушение лесных пожаров: эффективность репортажей и эффективность технологий // Авиапанорама. — 2011. — № 4. — С. 10–13.
7. 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.
8. Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
9. Саламов А. А. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. — 2012. — № 3. — С. 16–18.
10. Тертигорьев В. Водяной туман как средство защиты объектов культуры // Алгоритм безопасности. — 2006. — № 5. — С. 18–20.
11. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // Журнал технической физики. — 2014. — Т. 84, № 7. — С. 15–23.
12. 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.
13. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
14. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние структуры распыленной воды на температуру и концентрацию продуктов горения // Пожарная безопасность. — 2013. — № 4. — С. 47–53.
15. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
16. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields // Measurement Science and Technology. — 2002. — Vol. 13, No. 7 — P. 1058–1071. DOI: 10.1088/0957-0233/13/7/313.
17. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry // Measurement Science and Technology. — 1997. — Vol. 8, No. 12. — P. 1379–1392. DOI: 10.1088/0957-0233/8/12/002.

18. *Dehaeck S., Van Parys H., Hubin A., van Beeck J. P. A. J.* Laser marked shadowgraphy: a novel optical planar technique for the study of microbubbles and droplets // *Experiments in Fluids*. — 2009. — Vol. 47, No. 2. — P. 333–341. DOI: 10.1007/s00348-009-0668-8.
19. *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 22 февраля 2016 г.*

**Для цитирования:** *Войтков И. С., Волков Р. С., Высокоморная О. В., Жданова А. О.* Экспериментальное исследование процессов тушения модельных очагов пожара распределенными во времени и пространстве каплевыми потоками воды // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 56–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.56-65.

English

## EXPERIMENTAL STUDY OF MODEL FIRE SEATS EXTINGUISHING BY THE DISTRIBUTED IN TIME AND SPACE WATER DROPLET FLOWS

**VOYTKOV I. S.**, Postgraduate Student 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: i.voytkov@ges.tomsk.ru)

**VOLKOV R. S.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer 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)

**VYSOKOMORNAYA O. V.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Postdoc 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: vysokomornaja@tpu.ru)

**ZHDANOVA A. O.**, Assistant 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: zhdanovaao@tpu.ru)

### ABSTRACT

In this paper the main attention is paid to a problem of increase of efficiency of major forest fires suppression. The main popular way of wildfires extinguishing — local dumping of water with use of aircraft was considered. The approach providing suppression of the fires by the distributed in time and space water flows is offered.

When carrying out researches the model fire seats corresponds (in temperature and height of a flame) to ground and crown forest fires were used. For model fire seats production the pine whetstones and the typical forest combustible materials making a basis of a forest laying are used. As means of suppression the spray nozzles generating a polydisperse droplet flow with droplet radius of 0.02–0.35 mm were applied. For continuous movement of nozzles over the model fire the special system was used. The system consisted of a set of coordinate mechanisms with adjustable parameters — acceleration and speed of movement.

Various ways of water spraying in a fire zone are considered. With using of the model fires (ground and crown forest fires) use of various combinations the spraying nozzles is tested. With use of high-speed video registration equipment and panoramic optical methods of flows diagnostics such as PIV and SP, the optimum parameters of dispersion (relative positioning and combinations of spray nozzles) providing smallest times of suppression of the model fire seat and the minimum volumes

of the water spent for suppression of a flame are revealed. For the model fire seats corresponding to ground forest fire, the minimum times of suppression were 45 sec, volumes of the spent water — 0.03 l, for the model fire seats corresponding to crown forest fire — 110 sec and 0.135 l. The sizes of sprayed water droplets corresponding to each scheme of dispersion necessary for effective fire extinguishing are determined. For the model fire seats corresponding to ground and crown forest fires these ranges were 0.02–0.25 and 0.08–0.35 mm, respectively. The expediency of the use of such systems in the liquidation of fires in rooms is proved.

**Keywords:** model fire seat; high-temperature gases; water droplets; extinguishing; evaporation.

## REFERENCES

1. *O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera v 2013 godu*. Doklad MChS Rossii [The state report on the status of protection of population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and technogenic character in 2013]. Moscow, All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergencies of Emercom of Russia Publ., 2014. 344 p.
2. 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.
3. Yanitskiy O. N. Pozhary 2010 g. v Rossii: ekosotsiologicheskii analiz [Firebrands in Russia 2010: an ecosociological analysis]. *Sotsiologicheskiye issledovaniya — Sociological Studies*, 2011, no. 3, pp. 4–12.
4. Dorrer G. A., Yakimov S. P., Vasiliev 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.
5. Moskvilin E. A. Primeneniye aviatsii dlya tusheniya lesnykh pozharov [Aviation usage for the suppression of forest fires]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 1, pp. 89–92.
6. Korshunov N. A. Aviatsonnoye tusheniye lesnykh pozharov: effektivnost reportazhey i effektivnost tekhnologii [Aviation extinguishing forest fires: efficiency reporting and efficiency technologies]. *Aviapanorama — Aviapanorama*, 2011, no. 4, pp. 10–13.
7. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniye tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automated water fire-fighting system with use of water spray at power plants]. *Energetik — Power and Electrical Engineering*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
8. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspylennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity kabelnykh sooruzheniy AES [The water mist system for cable construction of nuclear power plant fire protection]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 2011, no. 4, pp. 61–64.
9. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [Modern high pressure fire-fighting system “water mist”]. *Energetik — Power and Electrical Engineering*, 2012, no. 3, pp. 16–18.
10. Terpigorev V. S. Vodyanoy tuman kak sredstvo zashchity obyektov kultury [Water mist as a means of cultural objects protection]. *Algoritm bezopasnosti — Security Algorithm*, 2006, no. 5, pp. 18–20.
11. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye nachalnykh parametrov raspylennoy vody na kharakteristiki yeye dvizheniya cherez vstrechnyy potok vysokotemperaturnykh gazov [Influence of the initial parameters of spray water on the characteristics of its motion through a counter flow of high-temperature gases]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 2014, vol. 84, no. 7, pp. 15–23.
12. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye integralnykh kharakteristik 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 — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 2, pp. 18–23.
13. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of water drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, no. 8, pp. 26–31.

14. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye struktury raspylennoy vody na temperaturu i kontsentratsiyu produktov goreniya [Influence of water spray structure on the temperature and concentration of combustion products]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 4, pp. 47–53.
15. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
16. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields. *Measurement Science and Technology*, 2002, vol. 13, no. 7, pp. 1058–1071. DOI: 10.1088/0957-0233/13/7/313.
17. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry. *Measurement Science and Technology*, 1997, vol. 8, no. 12, pp. 1379–1392. DOI: 10.1088/0957-0233/8/12/002.
18. Dehaeck S., Van Parys H., Hubin A., van Beeck J. P. A. J. Laser marked shadowgraphy: a novel optical planar technique for the study of microbubbles and droplets. *Experiments in Fluids*, 2009, vol. 47, no. 2, pp. 333–341. DOI: 10.1007/s00348-009-0668-8.
19. 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, pp. 615–629. DOI: 10.1007/s00348-009-0797-0.

**For citation:** Voytkov I. S., Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Zhdanova A. O. Eksperimentalnoye issledovaniye protsessov tusheniya modelnykh ochagov pozhara raspredelennymi vo vremeni i prostanstve kapelnymi potokami vody [Experimental study of model fire seats extinguishing by the distributed in time and space water droplet flows]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 56–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.56-65.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

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

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

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

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

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

**А. А. ТАРАНЦЕВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, 13; e-mail: t\_54@mail.ru)

**Н. Ю. ПИВОВАРОВ**, начальник караула, Главное управление МЧС России по Новосибирской области (Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Октябрьская, 80); адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: nikola-pivovarov@mail.ru)

УДК 614.842.62/843.1

## АНАЛИЗ ВОДООТДАЧИ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ НАРУЖНОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассмотрена проблема оценки водоотдачи кольцевой сети наружного противопожарного водопровода при повреждении некоторых его участков. Приведены математические модели сети водоснабжения с учетом повреждения ее отдельных участков и при различном числе задействованных пожарных гидрантов. Проведены компьютерные расчеты, результаты которых сопоставлены с табличными данными справочников руководителей тушения пожаров. По результатам расчетов сформулирована и описана проблема живучести сетей водоснабжения. Сделан вывод о целесообразности разработки гидравлических паспортов сетей водоснабжения.

**Ключевые слова:** водоотдача; сеть наружного противопожарного водоснабжения; пожарный гидрант; повреждение сети; живучесть; коэффициент живучести; анализ; паспорт сети.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.06.66-78

Тушение пожаров на объектах нефтегазового комплекса и других крупных предприятиях народного хозяйства требует больших расходов воды [1], в том числе на охлаждение и пенное тушение. На подобные объекты составляются планы тушения пожаров, одним из важных разделов которых является оценка достаточности водоотдачи при использовании сетей наружного противопожарного водопровода (НППВ) [2]. Такая оценка осуществляется путем сопоставления расчетного фактического требуемого общего расхода воды  $Q_{\phi}$  [3, 4], включающего расход как на тушение, так и на охлаждение и защиту конструкций зданий и сооружений, с табличным значением водоотдачи сети НППВ, которое согласно [5] определяется в зависимости от диаметра трубопровода  $d$  и напора  $H$  (табл. 1).

Как показано в работах [6, 7], реальная водоотдача как тупиковых, так и кольцевых сетей НППВ оказывается ниже расчетной, что обусловлено влиянием многих факторов, не учтенных в стандартной методике расчета по [2, 5], таких как количество задействованных пожарных гидрантов (ПГ)  $N$ , расстояния между ними, перепады высот местности и т. п. Это, в свою очередь, не раз приводило к опасным инцидентам, связанным с недостатком водоснабже-

**Таблица 1.** Водоотдача кольцевой сети НППВ  $Q_k$ , л/с, согласно [5]

| Напор в сети, м вод. ст. | Диаметр труб, мм |            |     |     |     |     |
|--------------------------|------------------|------------|-----|-----|-----|-----|
|                          | 100              | 150        | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 10                       | 25               | <b>55</b>  | 65  | 85  | 115 | 130 |
| 20                       | 30               | <b>70</b>  | 90  | 115 | 170 | 195 |
| 30                       | 40               | <b>80</b>  | 110 | 145 | 205 | 235 |
| 40                       | 45               | <b>95</b>  | 130 | 185 | 235 | 280 |
| 50                       | 50               | <b>105</b> | 145 | 200 | 265 | 325 |
| 60                       | 52               | <b>110</b> | 163 | 225 | 290 | 380 |
| 70                       | 58               | <b>130</b> | 182 | 255 | 330 | 440 |
| 80                       | 64               | <b>140</b> | 205 | 287 | 370 | 500 |

ния на реальных крупных пожарах, происходивших на рассматриваемых объектах [1, 8], хотя теоретически (согласно документам оперативного планирования [2] и справочникам [5]) сети НППВ должны обеспечивать необходимую водоотдачу.

Помимо этого, при тушении пожаров возникает проблема надежности и живучести сетей НППВ, так как их износ на большинстве промышленных предприятий (в том числе нефтегазового комплекса),

построенных в Советском Союзе в 60–90-е года XX века, к настоящему времени достигает 60 %(!).

К причинам низкой надежности трубопроводов в городах России, кроме износа, относятся:

- низкое качество и отсутствие надежных и долговечных труб;
- низкая коррозионная устойчивость значительного числа трубопроводов (материал большинства труб — низкоуглеродистая сталь);
- несоблюдение технологии производства работ по укладке и монтажу трубопроводов в период массового строительства;
- отсутствие необходимых мер по защите от агрессивного воздействия внешней и внутренней среды при прокладке стальных трубопроводов;
- скачки давления, гидравлические удары и т. п. [9].

Кроме того, сети НППВ могут подвергаться негативному воздействию факторов ЧС (например, разрушающих нагрузок при расположении сетей в сейсмически активных районах), повреждению при проводимых поблизости строительных работах и др.

При повреждении трубопроводов аварийные участки отсекаются задвижками, что позволяет сети НППВ еще какое-то время обеспечивать некоторую водоотдачу до проведения ремонта (что характерно для кольцевых сетей НППВ).

Таким образом, возникает проблема оценки *жизнестойкости* сети НППВ (т. е. возможности обеспечения водоотдачи при выходе из строя ее отдельных участков), которая может осуществляться посредством математического моделирования водоотдачи.

За основу модели сети НППВ был взят кольцевой наружный водопровод с двумя насосными станциями. В рамках данной статьи рассмотрены варианты работы сети при различных вариантах повреждений (разрывов) трубопроводов и количестве задействованных ПГ от 2 до 4 (рис. 1–3)\*.

В табл. 2–4 приведены расчетные модели при стандартных допущениях [10, 11].

1. Потери давления  $\Delta p$  между  $i$ -м и  $j$ -м ПГ пропорциональны квадрату расхода жидкости и перепаду высот:

$$\Delta p = A_{ij} q_{ij}^2 \pm \rho g \Delta h_{ij}, \quad (1)$$

где  $A_{ij}$  — коэффициент сопротивления между  $i$ -м и  $j$ -м ПГ;

$q_{ij}$  — расход воды от  $i$ -го к  $j$ -му задействованному ПГ, м<sup>3</sup>/с;

$\rho$  — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup> (для воды  $\rho \approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

\* На рис. 1–3 показаны только те ПГ, которые задействованы при тушении, а остальные учтены как местные гидросопротивления.

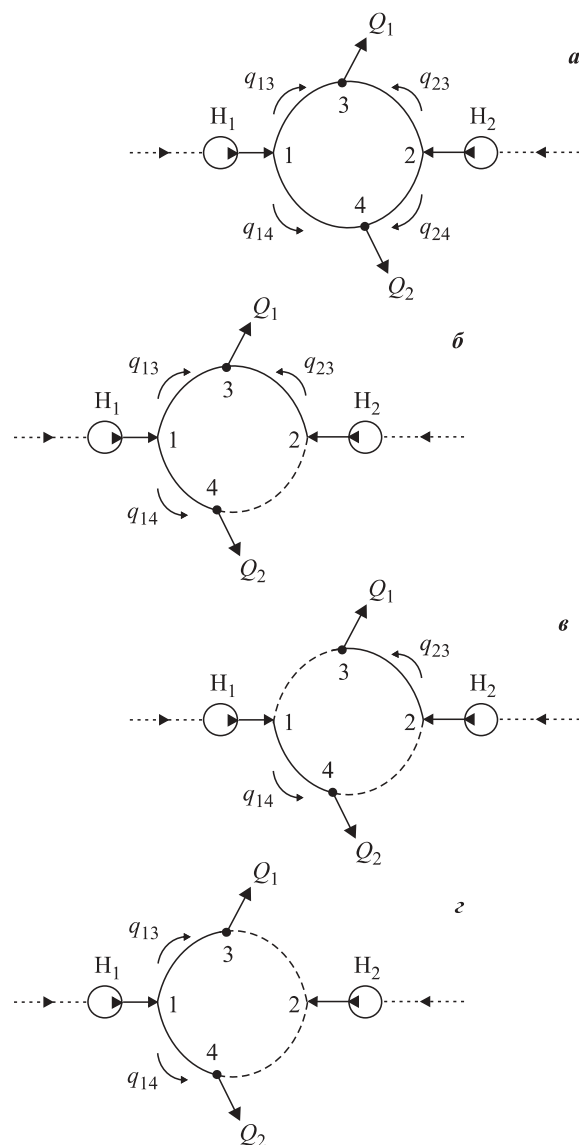


Рис. 1. Схемы кольцевой сети с двумя ПГ ( $N = 2$ ): а — нормальный режим; б — повреждение одного трубопровода; в, г — повреждение двух трубопроводов

$\Delta h_{ij}$  — перепад высот между  $i$ -м и  $j$ -м задействованными ПГ (если  $i$ -й гидрант ниже  $j$ -го, то  $\Delta h_{ij} > 0$ ; в противном случае —  $\Delta h_{ij} \leq 0$ ).

Коэффициент  $A_{ij}$  учитывает линейные и местные гидравлические потери и определяется по выражению

$$A_{ij} = 0,5\rho \sum_{k=1}^n \frac{\xi_{lk} + \xi_{mk}}{F_k^2}, \quad (2)$$

где  $n$  — количество отрезков трубопровода, образующих рассматриваемый участок между  $i$ -м и  $j$ -м ПГ;

$\xi_{lk}, \xi_{mk}$  — коэффициент линейного сопротивления и сумма коэффициентов местных сопротивлений на  $k$ -м отрезке трубопровода;

$F_k$  — площадь проходного сечения трубопровода на  $k$ -м отрезке трубопровода, м<sup>2</sup>.

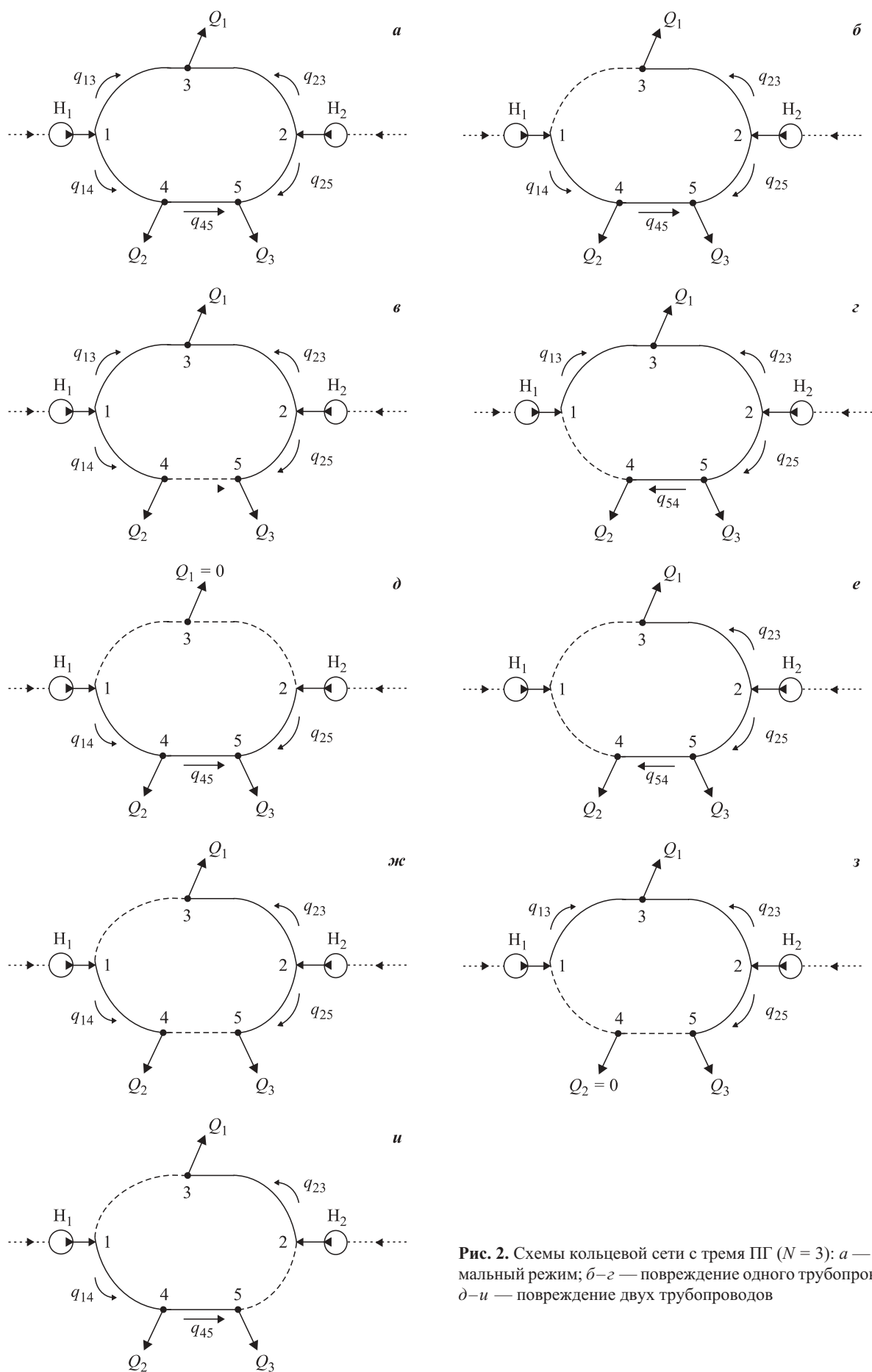


Рис. 2. Схемы кольцевой сети с тремя ПГ ( $N=3$ ): *a* — нормальный режим; *б-г* — повреждение одного трубопровода; *д-и* — повреждение двух трубопроводов

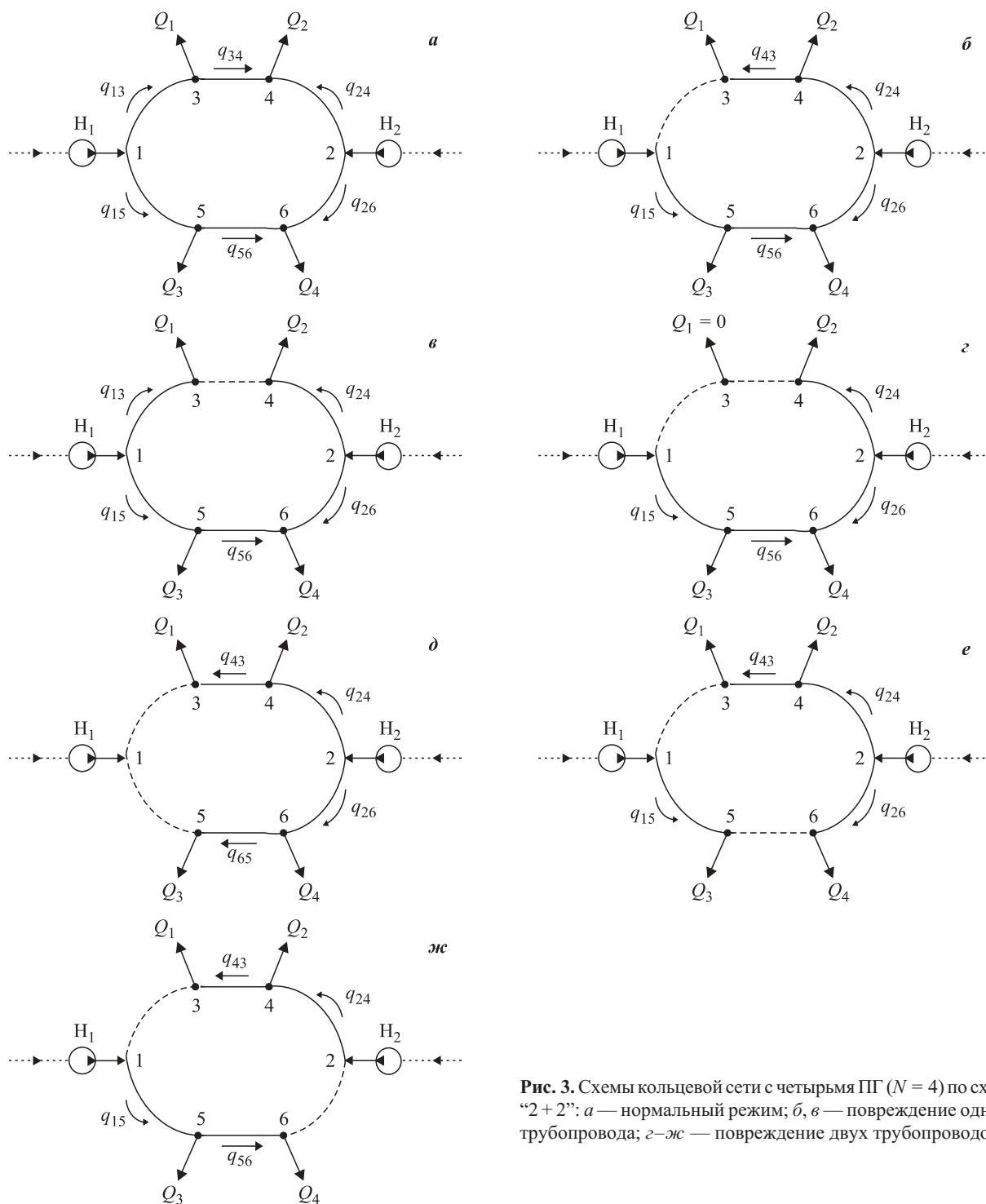


Рис. 3. Схемы кольцевой сети с четырьмя ПГ ( $N = 4$ ) по схеме “2+2”: а — нормальный режим; б, в — повреждение одного трубопровода; г–ж — повреждение двух трубопроводов

Значения  $\xi_{mk}$  определяются по справочникам (например, [12]), а  $\xi_{lk}$  — по выражению

$$\xi_{lk} = \lambda L/d, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — коэффициент, зависящий от шероховатости стенок трубы и числа Рейнольдса, который может быть оценен также по формуле Альтшуля:

$$\lambda \approx 0,11(K_3/d)^{0,25}, \quad (4)$$

$K_3$  — абсолютная эквивалентная шероховатость стенок для труб из различных материалов [12]);

$L, d$  — длина и диаметр трубопровода на  $k$ -м отрезке, м.

2. Выражение для напорно-расходной характеристики насоса имеет вид [6, 7]:

$$p = p_n - A_n Q^2, \quad (5)$$

где  $p, Q$  — давление и расход воды на выходе из насоса;

$p_n, A_n$  — гидравлические характеристики насоса.

Насосы на рис. 1–3 могут быть как одинаковыми, так и различными, но в любом случае расчет их на

**Таблица 2.** Выражения для моделирования водоотдачи кольцевой сети НППВ при двух задействованных ПГ ( $N = 2$ ) с учетом повреждений трубопроводов

| Схема    | Уравнения гидравлического баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Выражения для моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рис. 1,а | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{24})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} + q_{23})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{14} + q_{24})^2 + \rho g(h_{г2} - h_4)$ | $p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{13}q_{13}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{24})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - A_4(q_{14} + q_{24})^2 - A_{14}q_{14}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{24})^2 - A_4(q_{14} + q_{24})^2 - A_{14}q_{14}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н2});$<br>$Q_1 = q_{13} + q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14} + q_{24};$<br>$Q_k = Q_1 + Q_2$ |
| Рис. 1,б | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}q_{23}^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_1 = (A_{14} + A_4)q_{14}^2 + \rho g(h_{г2} - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} + q_{23})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3)$                                                                                                                      | $p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - (A_{н2} + A_{23})q_{23}^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$(A_{14} + A_4)q_{14}^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{г2});$<br>$Q_1 = q_{13} + q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14};$<br>$Q_k = Q_1 + Q_2$                                                                                                                                                    |
| Рис. 1,в | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{14}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}q_{23}^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_3 = A_3q_{23}^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_1 = (A_{14} + A_4)q_{14}^2 + \rho g(h_{г2} - h_1)$                                                                                                                                                                                                 | <p>Явные выражения:</p> $Q_1 = \{[p_{н2} - \rho g(h_{г1} - h_{н1})]/(A_{н2} + A_{23} + A_3)\}^{0,5};$<br>$Q_2 = \{[p_{н1} - \rho g(h_{г2} - h_{н1})]/(A_{н1} + A_{14} + A_4)\}^{0,5};$<br>$Q_k = Q_1 + Q_2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Рис. 1,г | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(Q_1 + Q_2)^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_1 = (A_{13} + A_3)Q_1^2 + \rho g(h_{г1} - h_1);$<br>$p_1 = (A_{14} + A_4)Q_2^2 + \rho g(h_{г2} - h_1)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $p_{н1} - A_{н1}(Q_1 + Q_2)^2 - \rho g(h_{г1} - h_{н1}) = (A_{13} + A_3)Q_1^2;$<br>$Q_2 = \{[(A_{13} + A_3)Q_1^2 + \rho g(h_{г1} - h_{г2})]/(A_{14} + A_4)\}^{0,5};$<br>$Q_k = Q_1 + Q_2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

поддержание требуемого напора проводится с учетом данных табл. 1 [5]. Предполагается также, что надежность насосов выше, чем трубопроводов, влияние разрывов которых на живучесть сети рассматривается в данной статье.

**3. Водоотдача из  $j$ -го ПГ  $Q_j$  может быть оценена из выражения**

$$Q_j = q_{ij} \pm q_{jk} = (p_j / A_{пгj})^{0,5}, \quad (6)$$

где  $q_{jk}$  — расход от  $j$ -го задействованного ПГ к  $k$ -му;  
 $p_j, Q_j$  — давление и расход на выходе из  $j$ -го ПГ;  
 $A_{пгj}$  — коэффициент сопротивления  $j$ -го ПГ;  
 знак + или – выбирается в зависимости от направления движения жидкости.

На основе выражений (1)–(6) составляется система нелинейных (квадратичных) алгебраических уравнений, решение которых численными методами [13] позволяет определить расходы  $\{Q_j\}$  из задействованных ПГ сети НППВ. Искомая водоотдача кольцевой сети НППВ  $Q_k$  определяется как сумма расходов из  $N$  задействованных ПГ:

$$Q_k = \sum_{j=1}^N Q_j. \quad (7)$$

В табл. 5 приведены результаты моделирования водоотдачи кольцевой сети НППВ без повреждений

и с повреждениями, а также (для сравнения) значения водоотдачи по справочнику [5] при  $d = 150$  мм и напоре  $H = 10 \div 80$  м вод. ст. Порядок расчетов и значения коэффициентов сопротивления  $\{A\}$  для различных вариантов расположения насосных станций, ПГ и расстояний между ними приведены в работе [6].

Как следует из анализа результатов моделирования (см. табл. 5), кольцевая сеть НППВ при различных вариантах повреждений трубопроводов, количестве и порядке задействованных ПГ обладает достаточной живучестью и в большинстве случаев обеспечивает требуемую водоотдачу.

Имеет смысл ввести понятие *коэффициент живучести*  $K_{ж}$ , который при повреждении сети НППВ выражается отношением числа задействованных ПГ, обеспечивающих водоотдачу, к общему числу задействованных ПГ. Очевидно, для схем на рис. 1,в и 1,г  $K_{ж} = 1$ , так как оба задействованных ПГ обеспечивают водоотдачу.

При задействовании трех ПГ ( $N = 3$ ) и повреждении одного трубопровода (см. рис. 2,б–г) все эти ПГ обеспечивают водоотдачу, ввиду чего  $K_{ж} = 1$ . При двух повреждениях из пяти возможных ситуаций (см. рис. 2,д–и) в двух случаях один ПГ оказывается неработоспособным (см. рис. 2,д и 2,з), тогда  $K_{ж} = (3 \cdot 3 + 2 \cdot 2)/(5 \cdot 3) \approx 0,867$ . При задействовании

**Таблица 3.** Выражения для моделирования водоотдачи кольцевой сети НППВ при трех задействованных ПГ ( $N = 3$ ) с учетом повреждений трубопроводов

| Схема    | Уравнения гидравлического баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Выражения для моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рис. 2,а | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_4 - p_5 = A_{45}q_{45}^2 + \rho g(h_5 - h_4);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} + q_{23})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{14} - q_{45})^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{45} + q_{25})^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$ | $p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{13}q_{13}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - A_4(q_{14} - q_{45})^2 - A_{14}q_{14}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_5(q_{45} + q_{25})^2 - A_{25}q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{14} - q_{45})^2 - A_5(q_{45} + q_{25})^2 - A_{45}q_{45}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{г2});$<br>$Q_1 = q_{13} + q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14} - q_{45};$<br>$Q_3 = q_{45} + q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$ |
| Рис. 2,б | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{14}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_4 - p_5 = A_{45}q_{45}^2 + \rho g(h_5 - h_4);$<br>$p_3 = A_3q_{23}^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{14} - q_{45})^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{45} + q_{25})^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$                                                                            | $p_{н1} - (A_{н1} + A_{14})q_{14}^2 - A_4(q_{14} - q_{45})^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - (A_3 + A_{23})q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_5(q_{45} + q_{25})^2 - A_{25}q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{14} - q_{45})^2 - A_5(q_{45} + q_{25})^2 - A_{45}q_{45}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{г2});$<br>$Q_1 = q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14} - q_{45};$<br>$Q_3 = q_{45} + q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$                                                                                                                                                         |
| Рис. 2,в | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} + q_{23})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4q_{14}^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5q_{25}^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$                                                                            | $p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{13}q_{13}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - (A_4 + A_{14})q_{14}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - (A_5 + A_{25})q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$Q_1 = q_{13} + q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14};$<br>$Q_3 = q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$                                                                                                                                                      |
| Рис. 2,г | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{13}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_5 - p_4 = A_{54}q_{54}^2 + \rho g(h_4 - h_5);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} + q_{23})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4q_{54}^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{25} - q_{54})^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$                                                                            | $p_{н1} - A_{н1}q_{13}^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{13}q_{13}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_5(q_{25} - q_{54})^2 - A_{25}q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$A_5(q_{25} - q_{54})^2 - (A_4 + A_{54})q_{54}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{г3});$<br>$Q_1 = q_{13} + q_{23};$<br>$Q_2 = q_{54};$<br>$Q_3 = -q_{54} + q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$                                                                                                                                                  |
| Рис. 2,д | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{14}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}q_{25}^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_4 - p_5 = A_{45}q_{45}^2 + \rho g(h_5 - h_4);$<br>$p_4 = A_4(q_{14} - q_{45})^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{45} + q_{25})^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$                                                                                                                                                                                           | $p_{н1} - A_{н1}q_{14}^2 - A_4(q_{14} - q_{45})^2 - A_{14}q_{14}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - (A_{н2} + A_{25})q_{25}^2 - A_5(q_{45} + q_{25})^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{14} - q_{45})^2 - A_5(q_{45} + q_{25})^2 - A_{45}q_{45}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{г2});$<br>$Q_1 = 0;$<br>$Q_2 = q_{14} - q_{45};$<br>$Q_3 = -q_{45} + q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_2 + Q_3$                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| Схема    | Уравнения гидравлического баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Выражения для моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рис. 2,е | $p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_5 - p_4 = A_{54}q_{54}^2 + \rho g(h_4 - h_5);$<br>$p_3 = A_3q_{23}^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4q_{54}^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{25} - q_{54})^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$                                                            | $p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - (A_3 - A_{23})q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_5(q_{25} - q_{54})^2 - A_{25}q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$A_5(q_{25} - q_{54})^2 - (A_4 + A_{54})q_{54}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{г3});$<br>$Q_1 = q_{23};$<br>$Q_2 = q_{54};$<br>$Q_3 = -q_{54} + q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$       |
| Рис. 2,ж | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_3 = A_3q_{23}^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4q_{14}^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5q_{25}^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$ | $p_{н1} - (A_{н1} + A_4)q_{14}^2 - A_{14}q_{14}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - (A_3 - A_{23})q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - (A_5 + A_{25})q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$Q_1 = q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14};$<br>$Q_3 = q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$                                 |
| Рис. 2,з | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{14})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_2 - p_5 = A_{25}q_{25}^2 + \rho g(h_5 - h_2);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} + q_{23})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_5 = A_5q_{25}^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$                                     | $p_{н1} - A_{н1}q_{13}^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{13}q_{13}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - A_3(q_{13} + q_{23})^2 - A_{23}q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{23} + q_{25})^2 - (A_5 + A_{25})q_{25}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н2});$<br>$Q_1 = q_{13} + q_{23};$<br>$Q_2 = 0;$<br>$Q_3 = q_{25};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_3$ |
| Рис. 2,и | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{14}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}q_{23}^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_4 = A_{14}q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1);$<br>$p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2);$<br>$p_4 - p_5 = A_{45}q_{45}^2 + \rho g(h_5 - h_4);$<br>$p_3 = A_3q_{23}^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{14} - q_{45})^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5q_{45}^2 + \rho g(h_{г3} - h_5)$            | $p_{н1} - (A_{н1} + A_{14})q_{14}^2 - A_4(q_{14} - q_{45})^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - (A_{н2} + A_3 + A_{23})q_{23}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{14} - q_{45})^2 - (A_5 + A_{45})q_{45}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{г2});$<br>$Q_1 = q_{23};$<br>$Q_2 = q_{14} - q_{45};$<br>$Q_3 = q_{45};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3$                                            |

**Таблица 4.** Выражения для моделирования водоотдачи кольцевой сети НППВ при четырех задействованных ПГ ( $N = 4$ ) по схеме "2 + 2" с учетом повреждений трубопроводов

| Схема    | Уравнения гидравлического баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Выражения для моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рис. 3,а | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{15})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_1 - p_5 = A_{15}q_{15}^2 + \rho g(h_5 - h_1);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_3 - p_4 = A_{34}q_{34}^2 + \rho g(h_4 - h_3);$<br>$p_2 - p_6 = A_{26}q_{26}^2 + \rho g(h_6 - h_2);$<br>$p_5 - p_6 = A_{56}q_{56}^2 + \rho g(h_6 - h_5);$<br>$p_3 = A_3(q_{13} - q_{34})^2 + \rho g(h_{г1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{34} + q_{24})^2 + \rho g(h_{г2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{15} - q_{56})^2 + \rho g(h_{г3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6(q_{56} + q_{26})^2 + \rho g(h_{г4} - h_6)$ | $p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{15})^2 - A_3(q_{13} - q_{34})^2 - A_{13}q_{13}^2 = \rho g(h_{г1} - h_{н1});$<br>$p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{15})^2 - A_5(q_{15} - q_{56})^2 - A_{15}q_{15}^2 = \rho g(h_{г3} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_4(q_{34} + q_{24})^2 - A_{24}q_{24}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{26}q_{26}^2 = \rho g(h_{г4} - h_{н2});$<br>$A_3(q_{13} - q_{34})^2 - A_4(q_{34} + q_{24})^2 - A_{34}q_{34}^2 = \rho g(h_{г2} - h_{г1});$<br>$A_5(q_{15} - q_{56})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{56}q_{56}^2 = \rho g(h_{г4} - h_{г3});$<br>$Q_1 = q_{13} - q_{34};$<br>$Q_2 = q_{24} + q_{34};$<br>$Q_3 = q_{15} - q_{56};$<br>$Q_4 = q_{56} + q_{26};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ |

| Схема    | Уравнения гидравлического баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Выражения для моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рис. 3,б | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{15}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_5 = A_{15}q_{15}^2 + \rho g(h_5 - h_1);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_4 - p_3 = A_{43}q_{43}^2 + \rho g(h_3 - h_4);$<br>$p_2 - p_6 = A_{26}q_{26}^2 + \rho g(h_6 - h_2);$<br>$p_5 - p_6 = A_{56}q_{56}^2 + \rho g(h_6 - h_5);$<br>$p_3 = A_3q_{34}^2 + \rho g(h_{т1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{34} + q_{24})^2 + \rho g(h_{т2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{15} - q_{56})^2 + \rho g(h_{т3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6(q_{56} + q_{26})^2 + \rho g(h_{т4} - h_6)$ | $p_{н1} - (A_{н1} + A_{15})q_{15}^2 - A_5(q_{15} - q_{56})^2 = \rho g(h_{т3} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_4(q_{24} - q_{43})^2 - A_{24}q_{24}^2 = \rho g(h_{т2} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{26}q_{26}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{24} - q_{43})^2 - (A_3 + A_{43})q_{43}^2 = \rho g(h_{т1} - h_{т2});$<br>$A_5(q_{15} - q_{56})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{56}q_{56}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{т3});$<br>$Q_1 = q_{43};$<br>$Q_2 = q_{24} - q_{43};$<br>$Q_3 = q_{15} - q_{56};$<br>$Q_4 = q_{56} + q_{26};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$    |
| Рис. 3,в | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{15})^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_3 = A_{13}q_{13}^2 + \rho g(h_3 - h_1);$<br>$p_1 - p_5 = A_{15}q_{15}^2 + \rho g(h_5 - h_1);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_2 - p_6 = A_{26}q_{26}^2 + \rho g(h_6 - h_2);$<br>$p_5 - p_6 = A_{56}q_{56}^2 + \rho g(h_6 - h_5);$<br>$p_3 = A_3q_{13}^2 + \rho g(h_{т1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4q_{24}^2 + \rho g(h_{т2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{15} - q_{56})^2 + \rho g(h_{т3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6(q_{56} + q_{26})^2 + \rho g(h_{т4} - h_6)$ | $p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{15})^2 - (A_3 + A_{13})q_{13}^2 = \rho g(h_{т1} - h_{н1});$<br>$p_{н1} - A_{н1}(q_{13} + q_{15})^2 - A_5(q_{15} - q_{56})^2 - A_{15}q_{15}^2 = \rho g(h_{т3} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - (A_4 + A_{24})q_{24}^2 = \rho g(h_{т2} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{26}q_{26}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{н2});$<br>$A_5(q_{15} - q_{56})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{56}q_{56}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{т3});$<br>$Q_1 = q_{13};$<br>$Q_2 = q_{24};$<br>$Q_3 = q_{15} - q_{56};$<br>$Q_4 = q_{56} + q_{26};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ |
| Рис. 3,г | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{15}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_5 = A_{15}q_{15}^2 + \rho g(h_5 - h_1);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_2 - p_6 = A_{26}q_{26}^2 + \rho g(h_6 - h_2);$<br>$p_5 - p_6 = A_{56}q_{56}^2 + \rho g(h_6 - h_5);$<br>$p_4 = A_4q_{24}^2 + \rho g(h_{т2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5(q_{15} - q_{56})^2 + \rho g(h_{т3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6(q_{56} + q_{26})^2 + \rho g(h_{т4} - h_6)$                                                                                                                | $p_{н1} - (A_{н1} + A_{15})q_{15}^2 - A_5(q_{15} - q_{56})^2 = \rho g(h_{т3} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - (A_4 + A_{24})q_{24}^2 = \rho g(h_{т2} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{26}q_{26}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{н2});$<br>$A_5(q_{15} - q_{56})^2 - A_6(q_{56} + q_{26})^2 - A_{56}q_{56}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{т3});$<br>$Q_1 = 0;$<br>$Q_2 = q_{24};$<br>$Q_3 = q_{15} - q_{56};$<br>$Q_4 = q_{56} + q_{26};$<br>$Q_{\kappa} = Q_2 + Q_3 + Q_4$                                                                                                                         |
| Рис. 3,д | $p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_2 - p_6 = A_{26}q_{26}^2 + \rho g(h_6 - h_2);$<br>$p_4 - p_3 = A_{43}q_{43}^2 + \rho g(h_3 - h_4);$<br>$p_6 - p_5 = A_{65}q_{65}^2 + \rho g(h_5 - h_6);$<br>$p_3 = A_3q_{43}^2 + \rho g(h_{т1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{24} - q_{43})^2 + \rho g(h_{т2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5q_{65}^2 + \rho g(h_{т3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6(q_{26} - q_{65})^2 + \rho g(h_{т4} - h_6)$                                                                                                                            | $p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_4(q_{24} - q_{43})^2 - A_{24}q_{24}^2 = \rho g(h_{т2} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_6(q_{26} - q_{65})^2 - A_{26}q_{26}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{24} - q_{43})^2 - (A_3 + A_{43})q_{43}^2 = \rho g(h_{т1} - h_{т2});$<br>$A_6(q_{26} - q_{65})^2 - (A_5 + A_{65})q_{65}^2 = \rho g(h_{т3} - h_{т4});$<br>$Q_1 = q_{43};$<br>$Q_2 = q_{24} - q_{43};$<br>$Q_3 = q_{65};$<br>$Q_4 = -q_{65} + q_{26};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$                                                                                                                         |
| Рис. 3,е | $p_1 = p_{н1} - A_{н1}q_{15}^2 - \rho g(h_1 - h_{н1});$<br>$p_2 = p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - \rho g(h_2 - h_{н2});$<br>$p_1 - p_5 = A_{15}q_{15}^2 + \rho g(h_5 - h_1);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24}q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_2 - p_6 = A_{26}q_{26}^2 + \rho g(h_6 - h_2);$<br>$p_4 - p_3 = A_{43}q_{43}^2 + \rho g(h_3 - h_4);$<br>$p_3 = A_3q_{34}^2 + \rho g(h_{т1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4(q_{43} + q_{24})^2 + \rho g(h_{т2} - h_4);$                                                                                                                                                                         | $p_{н1} - (A_{н1} + A_5 + A_{15})q_{15}^2 = \rho g(h_{т3} - h_{н1});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - A_4(q_{24} - q_{43})^2 - A_{24}q_{24}^2 = \rho g(h_{т2} - h_{н2});$<br>$p_{н2} - A_{н2}(q_{24} + q_{26})^2 - (A_6 + A_{26})q_{26}^2 = \rho g(h_{т4} - h_{н2});$<br>$A_4(q_{24} - q_{43})^2 - (A_3 + A_{43})q_{43}^2 = \rho g(h_{т1} - h_{т2});$<br>$Q_1 = q_{43};$<br>$Q_2 = q_{24} - q_{43};$<br>$Q_3 = q_{15};$<br>$Q_4 = q_{26};$<br>$Q_{\kappa} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$                                                                                                                                                           |

| Схема    | Уравнения гидравлического баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Выражения для моделирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рис. 3,е | $p_5 = A_5 q_{15}^2 + \rho g(h_{r3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6 q_{26}^2 + \rho g(h_{r4} - h_6)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Рис. 3,ж | $p_1 = p_{n1} - A_{n1} q_{15}^2 - \rho g(h_1 - h_{n1});$<br>$p_2 = p_{n2} - A_{n2} q_{24}^2 - \rho g(h_2 - h_{n2});$<br>$p_1 - p_5 = A_{15} q_{15}^2 + \rho g(h_5 - h_1);$<br>$p_2 - p_4 = A_{24} q_{24}^2 + \rho g(h_4 - h_2);$<br>$p_4 - p_3 = A_{43} q_{43}^2 + \rho g(h_3 - h_4);$<br>$p_5 - p_6 = A_{56} q_{56}^2 + \rho g(h_6 - h_5);$<br>$p_3 = A_3 q_{43}^2 + \rho g(h_{r1} - h_3);$<br>$p_4 = A_4 (q_{24} - q_{43})^2 + \rho g(h_{r2} - h_4);$<br>$p_5 = A_5 (q_{15} - q_{56})^2 + \rho g(h_{r3} - h_5);$<br>$p_6 = A_6 q_{56}^2 + \rho g(h_{r4} - h_6)$ | $p_{n1} - (A_{n1} + A_{15}) q_{15}^2 - A_5 (q_{15} - q_{56})^2 = \rho g(h_{r3} - h_{n1});$<br>$p_{n2} - (A_{n2} + A_{24}) q_{24}^2 - A_4 (q_{24} - q_{43})^2 = \rho g(h_{r2} - h_{n2});$<br>$A_4 (q_{24} - q_{43})^2 - (A_3 + A_{43}) q_{43}^2 = \rho g(h_{r1} - h_{r2});$<br>$A_5 (q_{15} - q_{56})^2 - (A_6 + A_{56}) q_{56}^2 = \rho g(h_{r4} - h_{r3});$<br>$Q_1 = q_{43};$<br>$Q_2 = q_{24} - q_{43};$<br>$Q_3 = q_{15} - q_{56};$<br>$Q_4 = q_{56};$<br>$Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ |

**Таблица 5.** Результаты моделирования водоотдачи кольцевой сети НППВ с учетом ее повреждений

| Количество<br>задействованных<br>ПГ | Водоотдача сети $Q_k$ , л/с, при диаметре трубы $d = 150$ мм и заданном напоре $H$ , м вод. ст. |           |           |           |           |            |            |            | Схема задей-<br>ствованных<br>ПГ |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------------------------------|
|                                     | 10                                                                                              | 20        | 30        | 40        | 50        | 60         | 70         | 80         |                                  |
| $N = 1$                             | <b>28</b>                                                                                       | <b>39</b> | <b>48</b> | <b>55</b> | <b>62</b> | <b>68</b>  | <b>73</b>  | <b>78</b>  | —                                |
| $N = 2$                             | 11                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 25        | 28         | 30         | 58         | Рис. 1,а                         |
|                                     | 25                                                                                              | 36        | 44        | 51        | 57        | 62         | 67         | 56         |                                  |
|                                     | <b>36</b>                                                                                       | <b>42</b> | <b>64</b> | <b>74</b> | <b>82</b> | <b>90</b>  | <b>97</b>  | <b>114</b> |                                  |
|                                     | 1                                                                                               | 1         | 1         | 1         | 1         | 2          | 2          | 2          | Рис. 1,б                         |
|                                     | 23                                                                                              | 32        | 39        | 45        | 50        | 55         | 59         | 63         |                                  |
|                                     | <b>24</b>                                                                                       | <b>33</b> | <b>40</b> | <b>46</b> | <b>51</b> | <b>57</b>  | <b>61</b>  | <b>65</b>  |                                  |
|                                     | 11                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 25        | 28         | 30         | 32         | Рис. 1,в                         |
|                                     | 21                                                                                              | 29        | 36        | 42        | 46        | 51         | 55         | 59         |                                  |
|                                     | <b>32</b>                                                                                       | <b>45</b> | <b>56</b> | <b>65</b> | <b>71</b> | <b>79</b>  | <b>85</b>  | <b>91</b>  |                                  |
|                                     | 5                                                                                               | 7         | 9         | 11        | 12        | 13         | 14         | 15         | Рис. 1,г                         |
|                                     | 21                                                                                              | 29        | 36        | 42        | 46        | 51         | 55         | 59         |                                  |
|                                     | <b>26</b>                                                                                       | <b>36</b> | <b>45</b> | <b>53</b> | <b>58</b> | <b>64</b>  | <b>69</b>  | <b>74</b>  |                                  |
| $N = 3$                             | 13                                                                                              | 18        | 23        | 26        | 29        | 32         | 34         | 37         | Рис. 2,а                         |
|                                     | 13                                                                                              | 19        | 23        | 26        | 30        | 32         | 35         | 37         |                                  |
|                                     | 17                                                                                              | 24        | 29        | 33        | 37        | 41         | 44         | 47         |                                  |
|                                     | <b>43</b>                                                                                       | <b>61</b> | <b>75</b> | <b>85</b> | <b>96</b> | <b>105</b> | <b>113</b> | <b>121</b> |                                  |
|                                     | 9                                                                                               | 12        | 15        | 17        | 19        | 21         | 23         | 24         | Рис. 2,б                         |
|                                     | 16                                                                                              | 22        | 27        | 31        | 35        | 38         | 41         | 44         |                                  |
|                                     | 17                                                                                              | 24        | 29        | 33        | 37        | 41         | 44         | 47         |                                  |
|                                     | <b>42</b>                                                                                       | <b>58</b> | <b>71</b> | <b>81</b> | <b>91</b> | <b>100</b> | <b>108</b> | <b>115</b> |                                  |
|                                     | 11                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 26        | 28         | 30         | 32         | Рис. 2,в                         |
|                                     | 14                                                                                              | 20        | 25        | 29        | 32        | 35         | 38         | 41         |                                  |
|                                     | 17                                                                                              | 24        | 30        | 34        | 38        | 42         | 45         | 48         |                                  |
|                                     | <b>42</b>                                                                                       | <b>60</b> | <b>75</b> | <b>86</b> | <b>96</b> | <b>105</b> | <b>113</b> | <b>121</b> |                                  |
|                                     | 5                                                                                               | 7         | 8         | 9         | 11        | 12         | 13         | 14         | Рис. 2,г                         |
|                                     | 7                                                                                               | 11        | 13        | 15        | 17        | 19         | 20         | 22         |                                  |
|                                     | 25                                                                                              | 36        | 44        | 50        | 56        | 62         | 67         | 71         |                                  |
|                                     | <b>37</b>                                                                                       | <b>54</b> | <b>65</b> | <b>74</b> | <b>84</b> | <b>93</b>  | <b>100</b> | <b>107</b> |                                  |

Продолжение табл. 5

| Количество<br>задействованных<br>ПГ | Водоотдача сети $Q_k$ , л/с, при диаметре трубы $d = 150$ мм и заданном напоре $H$ , м вод. ст. |           |           |           |            |            |            |            | Схема задей-<br>ствованных<br>ПГ |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|----------------------------------|
|                                     | 10                                                                                              | 20        | 30        | 40        | 50         | 60         | 70         | 80         |                                  |
| $N = 3$                             | 0                                                                                               | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | Рис. 2,д                         |
|                                     | 17                                                                                              | 24        | 30        | 35        | 39         | 42         | 46         | 49         |                                  |
|                                     | 18                                                                                              | 25        | 31        | 36        | 40         | 44         | 47         | 50         |                                  |
|                                     | <b>35</b>                                                                                       | <b>49</b> | <b>61</b> | <b>71</b> | <b>79</b>  | <b>86</b>  | <b>93</b>  | <b>99</b>  |                                  |
|                                     | 4                                                                                               | 6         | 8         | 9         | 10         | 11         | 12         | 13         | Рис. 2,е                         |
|                                     | 7                                                                                               | 10        | 12        | 14        | 16         | 17         | 18         | 20         |                                  |
|                                     | 8                                                                                               | 12        | 14        | 17        | 19         | 20         | 22         | 24         |                                  |
|                                     | <b>19</b>                                                                                       | <b>28</b> | <b>34</b> | <b>40</b> | <b>45</b>  | <b>48</b>  | <b>52</b>  | <b>57</b>  |                                  |
|                                     | 8                                                                                               | 12        | 15        | 17        | 19         | 21         | 22         | 24         | Рис. 2,ж                         |
|                                     | 11                                                                                              | 16        | 19        | 22        | 25         | 27         | 29         | 31         |                                  |
|                                     | 21                                                                                              | 29        | 36        | 42        | 46         | 51         | 55         | 59         |                                  |
|                                     | <b>40</b>                                                                                       | <b>57</b> | <b>70</b> | <b>81</b> | <b>90</b>  | <b>99</b>  | <b>106</b> | <b>114</b> |                                  |
|                                     | 0                                                                                               | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | Рис. 2,з                         |
|                                     | 12                                                                                              | 17        | 21        | 24        | 27         | 30         | 32         | 34         |                                  |
|                                     | 25                                                                                              | 36        | 44        | 51        | 56         | 62         | 67         | 71         |                                  |
|                                     | <b>37</b>                                                                                       | <b>53</b> | <b>65</b> | <b>75</b> | <b>83</b>  | <b>92</b>  | <b>99</b>  | <b>105</b> |                                  |
|                                     | 9                                                                                               | 12        | 15        | 17        | 20         | 21         | 23         | 25         | Рис. 2,и                         |
|                                     | 11                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 25         | 28         | 30         | 32         |                                  |
|                                     | 14                                                                                              | 19        | 24        | 27        | 30         | 33         | 36         | 38         |                                  |
|                                     | <b>34</b>                                                                                       | <b>47</b> | <b>59</b> | <b>67</b> | <b>75</b>  | <b>82</b>  | <b>89</b>  | <b>95</b>  |                                  |
| $N = 4$                             | 10                                                                                              | 15        | 18        | 21        | 24         | 26         | 28         | 29         | Рис. 3,а                         |
|                                     | 10                                                                                              | 15        | 19        | 22        | 24         | 26         | 28         | 30         |                                  |
|                                     | 12                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 26         | 28         | 30         | 32         |                                  |
|                                     | 12                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 26         | 28         | 30         | 32         |                                  |
|                                     | <b>44</b>                                                                                       | <b>62</b> | <b>77</b> | <b>89</b> | <b>100</b> | <b>108</b> | <b>116</b> | <b>123</b> | Рис. 3,б                         |
|                                     | 3                                                                                               | 5         | 6         | 7         | 8          | 9          | 9          | 10         |                                  |
|                                     | 5                                                                                               | 7         | 9         | 11        | 12         | 13         | 14         | 15         |                                  |
|                                     | 15                                                                                              | 22        | 27        | 31        | 35         | 38         | 41         | 44         |                                  |
|                                     | 16                                                                                              | 23        | 28        | 32        | 36         | 40         | 43         | 46         | Рис. 3,в                         |
|                                     | <b>39</b>                                                                                       | <b>57</b> | <b>70</b> | <b>81</b> | <b>91</b>  | <b>100</b> | <b>107</b> | <b>115</b> |                                  |
|                                     | 8                                                                                               | 12        | 15        | 17        | 19         | 21         | 22         | 24         |                                  |
|                                     | 11                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 26         | 28         | 31         | 33         |                                  |
|                                     | 11                                                                                              | 16        | 20        | 23        | 26         | 28         | 31         | 33         | Рис. 3,г                         |
|                                     | 12                                                                                              | 17        | 21        | 24        | 27         | 29         | 32         | 34         |                                  |
|                                     | <b>42</b>                                                                                       | <b>61</b> | <b>76</b> | <b>87</b> | <b>98</b>  | <b>106</b> | <b>116</b> | <b>124</b> |                                  |
|                                     | 0                                                                                               | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | Рис. 3,д                         |
|                                     | 8                                                                                               | 12        | 15        | 17        | 19         | 21         | 23         | 25         |                                  |
|                                     | 15                                                                                              | 22        | 27        | 31        | 35         | 39         | 41         | 44         |                                  |
|                                     | 16                                                                                              | 23        | 28        | 32        | 36         | 40         | 43         | 46         |                                  |
|                                     | <b>39</b>                                                                                       | <b>57</b> | <b>70</b> | <b>80</b> | <b>90</b>  | <b>100</b> | <b>107</b> | <b>115</b> | Рис. 3,е                         |
|                                     | 3                                                                                               | 5         | 6         | 7         | 7          | 8          | 9          | 10         |                                  |
|                                     | 5                                                                                               | 7         | 8         | 10        | 11         | 12         | 13         | 14         |                                  |
|                                     | 5                                                                                               | 7         | 9         | 10        | 12         | 13         | 14         | 15         |                                  |
|                                     | 6                                                                                               | 9         | 11        | 13        | 14         | 16         | 17         | 18         | Рис. 3,ж                         |
|                                     | <b>19</b>                                                                                       | <b>28</b> | <b>34</b> | <b>40</b> | <b>44</b>  | <b>49</b>  | <b>53</b>  | <b>57</b>  |                                  |

| Количество задействованных ПГ | Водоотдача сети $Q_k$ , л/с, при диаметре трубы $d = 150$ мм и заданном напоре $H$ , м вод. ст. |           |           |           |            |            |            |            | Схема задействованных ПГ |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|
|                               | 10                                                                                              | 20        | 30        | 40        | 50         | 60         | 70         | 80         |                          |
| $N = 4$                       | 3                                                                                               | 5         | 6         | 7         | 8          | 8          | 9          | 10         | Рис. 3,е                 |
|                               | 5                                                                                               | 7         | 9         | 11        | 12         | 13         | 14         | 15         |                          |
|                               | 11                                                                                              | 16        | 19        | 22        | 24         | 27         | 29         | 31         |                          |
|                               | 21                                                                                              | 29        | 36        | 41        | 46         | 51         | 55         | 58         |                          |
|                               | <b>40</b>                                                                                       | <b>57</b> | <b>70</b> | <b>81</b> | <b>90</b>  | <b>99</b>  | <b>107</b> | <b>114</b> |                          |
| По справочнику РТП [5]        | <b>55</b>                                                                                       | <b>70</b> | <b>80</b> | <b>95</b> | <b>105</b> | <b>110</b> | <b>130</b> | <b>140</b> |                          |

четырёх ПГ ( $N = 4$ ) и повреждении одного трубопровода (см. рис. 3,б и 3,в) все эти ПГ обеспечивают водоотдачу, ввиду чего  $K_{ж} = 1$ . А при двух повреждениях из четырех возможных ситуаций (см. рис. 3,з–ж) один ПГ оказывается неработоспособным (см. рис. 3,з), тогда  $K_{ж} = (3 \cdot 4 + 1 \cdot 3)/(4 \cdot 4) \approx 0,938$ . Подобным образом можно оценить живучесть сети НППВ при различных вариантах повреждений и количествах задействованных ПГ.

Таким образом, показана возможность построения математических моделей кольцевой сети НППВ при различных вариантах повреждений трубопроводов; проведены расчеты водоотдачи, подтверждающие ее живучесть. В качестве практического применения данный материал целесообразно исполь-

зовать при разработке паспортов для сетей НППВ с учетом перепадов высот местности, количества задействованных ПГ, ожидаемой схемы их расположения и характеристик насосных станций. При составлении таких паспортов строится расчетная таблица реальной водоотдачи с учетом ожидаемых факторов внутреннего и внешнего отрицательного воздействия (в том числе повреждений участков трубопроводов) на сеть. Паспорта сетей НППВ целесообразно использовать при разработке документов оперативного планирования [2] вместо табл. 1, приводимой в справочной литературе [5]. Кроме того, изложенную методику расчета водоотдачи сетей НППВ имеет смысл включить в специальное приложение к СП 8.13130.2009 [14, 15].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Калан, 2002. — 448 с.
2. Методические рекомендации по составлению планов и карточек тушения пожаров : утв. письмом МЧС России от 01.03.2013 № 43-956-18. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499028650> (дата обращения: 30.03.2016).
3. Sårdqvist S., Holmstedt G. Correlation between firefighting operation and fire area: analysis of statistics // Fire Technology. — 2000. — Vol. 36, No. 2. — P. 109–130. DOI: 10.1023/A:1015450308130.
4. Adrian R., Cimolino U., Fuchs M., Südmersen J., Volkmar G. Brandbekämpfung im Innenangriff. — Ecomed Sicherheit GmbH, 2013. — 304 s.
5. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : ЗАО «Спецтехника», 2004. — 361 с.
6. Таранцев А. А., Пивоваров Н. Ю. Расчетная оценка водоотдачи тупиковых сетей наружного противопожарного водоснабжения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 73–78.
7. Пивоваров Н. Ю., Таранцев А. А. Моделирование водоотдачи кольцевых сетей наружного противопожарного водопровода // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 69–75.
8. Маршалл В. Основные опасности химических производств : пер. с англ. / Под ред. Б. Б. Чайванова, А. Н. Черноплекова. — М. : Мир, 1989. — 672 с.
9. Храменков С. В., Алифериенков А. Д., Примин О. Г. Трубы из высокопрочного чугуна для систем водоснабжения и водоотведения : монография. — М. : МГСУ, 2015. — 192 с.
10. Reynolds O. On rolling-friction // Phil. Trans. Roy. Soc. London. — 1876. — Vol. 166, pt. 1. — P. 155–177.
11. Чугаев Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). — Изд. 4-е, перераб. и доп. — Л. : Энергоиздат, 1982. — 672 с.
12. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М. : Энергия, 1975. — 672 с.
13. Очков В. Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2007. — 368 с.

14. СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.05.2009. — М. : ВНИИПО, 2009.
15. NFPA 1142. Standard on water supplies for suburban and rural fire fighting. — National Fire Protection Association, 2012. URL: <http://www.indabook.org/d/NFPA-National-Fire-Protection-Association.pdf> (дата обращения: 29.03.2016).

*Материал поступил в редакцию 6 апреля 2016 г.*

**Для цитирования:** Таранцев А. А., Пивоваров Н. Ю. Анализ водоотдачи кольцевой сети наружного противопожарного водопровода с учетом повреждений трубопроводов // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 66–78. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.66-78.

## ANALYSIS OF THE YIELD OF RING NETWORKS OF OUTDOOR FIRE WATER SUPPLY SYSTEM WITH CONSIDERATION OF PIPELINE DAMAGE

**TARANTSEV A. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation); Head of Laboratory, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Line VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; e-mail address: t\_54@mail.ru)

**PIVOVAROV N. Yu.**, Head of Fire Guard, Main Department of Emercom of Russia in Novosibirsk Region (Oktyabrskaya St., 80, Novosibirsk, 630099, Russian Federation); Adjunct of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation, e-mail address: nikola-pivovarov@mail.ru)

### ABSTRACT

In this article the authors analyze the yield of firefighting external water supply (FEWS) subject to possible damage of pipelines at different sites. Standard methods of assessing water loss dead-end and ring networks FEWS does not take into account the numerous factors which affect the flow of water and also the scenario of possible collision damage different sections of a piping network FEWS isn't considered.

For the calculation the authors used a numerical method of mathematical modeling of water loss ring network FEWS. On the basis of Darcy's law — Weisbach and mathematical description of the pressure-flow characteristics used in the pumping station pumps there are composed a system of equations for pressure balances of the ring network FEWS with a set number of fire hydrants (FH) and damage to different pipeline sections. To solve systems of equations there are used methods of discrete mathematics and the mathematical program package Mathcad 14. The obtained results are compared with the reference data and the calculation results obtained in a similar way in the simulation of ring network FEWS without considering the damage.

For the first time the authors introduce the notion of survivability of the ring network FEWS. To evaluate the effectiveness of yield ring network FEWS in terms of the damage some sections it is proposed to use the coefficient of survivability, which is calculated as the ratio of the number of involved fire hydrants that provide water loss when the network FEWS damaged, the total number of fire hydrants involved network FEWS. With respect to the models of analyzed ring networks FEWS disclosed the structure of the location of water sources (depending on the number of fire hydrants and distances between them), it's provided a mathematical description of each of the considered models. The performance of the proposed models and method of quantitative assessment of the network yield FEWS is demonstrated.

Recommendations are given for further development and practical use of the developed method for the needs of specialists in the field of fire safety. In particular, it is proposed to use the methodology

to design networks of passports FEWS subject to the height differences of the terrain, the amount of FH involved, approximate their locations and characteristics of pumping stations. In the preparation of these passports of networks FEWS it's proposed in a separate Annex to put the calculated yield table real network FEWS based on the expected factors of internal and external negative effects (including damage to sections of pipelines) on the network. In addition, it's proposed to reflect the methodology of calculation of loss networks FEWS in the special supplement to the a set of rules 8.13130.2009.

**Keywords:** water supply; network external firefighting water supply; fire hydrant; damage of the network; survivability; survivability factor; analysis; passport of network.

## REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Extinguish the fires of oil and petroleum products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
2. *Guidelines for the development of plans and cards of fire extinguishing*. Order of Emercom of Russia on 01.03.2013 No. 43-956-18. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499028650> (Accessed 30 March 2016) (in Russian).
3. Särđqvist S., Holmstedt G. Correlation between firefighting operation and fire area: analysis of statistics. *Fire Technology*, 2000, vol. 36, no. 2, pp. 109–130. DOI: 10.1023/A:1015450308130.
4. Adrian R., Cimolino U., Fuchs M., Südmersen J., Volkmar G. *Fire fighting in the interior attack*. Ecomed Sicherheit GmbH, 2013. 304 p.
5. Povzik Ya. S. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Guide the supervisor of the fire fighting]. Moscow, ZAO “Spetstekhnika” Publ., 2004. 361 p.
6. Tarantsev A. A., Pivovarov N. Yu. Raschetnaya otsenka vodootdachi tupikovykh setey naruzhnogo protivopozharnogo vodosnabzheniya [Design estimate of water runoff in deadlock networks of an external fire-prevention water supply system]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 73–78.
7. Pivovarov N. Yu., Tarantsev A. A. Modelirovaniye vodootdachi koltsevykh setey naruzhnogo protivopozharnogo vodoprovoda [Modeling water loss of ring networks external fire water supply]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 69–75.
8. Marshall V. *Major chemical hazards*. Chichester, Ellis Horwood Ltd., 1987 (Russ. ed.: Marshall V. Osnovnyye opasnosti khimicheskikh proizvodstv. Moscow, Mir Publ., 1989. 672 p.).
9. Khramenkov S. V., Aliferenkov A. D., Primin O. G. *Truby iz vysokoprochnogo chuguna dlya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: monografiya* [Pipes of ductile iron for water and wastewater systems. Monography]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2015. 192 p.
10. Reynolds O. On rolling-friction. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 1876, vol. 166, pt. 1, pp. 155–177.
11. Chugaev R. R. *Gidravlika (tekhnicheskaya mekhanika zhidkosti)* [Hydraulics (engineering fluid mechanics)]. Leningrad, Energoizdat, 1982. 672 p.
12. Idelchik I. E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 672 p.
13. Ochkov V. F. *Mathcad 14 dlya studentov, inzhenerov i konstruktorov* [Mathcad 14 for students, engineers and designers]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2007. 368 p.
14. *Set of rules 8.13130.2009. Systems of fire protection. Location of fire service divisions. Procedure and methods of determination*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009 (in Russian).
15. NFPA 1142. Standard on water supplies for suburban and rural fire fighting. National Fire Protection Association, 2012. Available at: <http://www.indabook.org/d/NFPA-National-Fire-Protection-Association.pdf> (Accessed 29 March 2016).

**For citation:** Tarantsev A. A., Pivovarov N. Yu. Analiz vodootdachi koltsevoy seti naruzhnogo protivopozharnogo vodoprovoda s uchetom povrezhdeniy truboprovodov [Analysis of the yield of ring networks of outdoor fire water supply system with consideration of pipeline damage]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 66–78. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.66-78.

**ВОПРОС:**

При строительстве как частных домов, так и многоквартирных высоток должны учитываться расстояния между ними и ближайшими строениями в целях исключения возможности распространения пожара на соседние здания. Этот вопрос актуален прежде всего для плотно застроенных городов с наличием автозаправочных станций, расположенных рядом с жилыми домами. Какие нормативные документы регламентируют безопасные расстояния между соседними сооружениями?

**ОТВЕТ:**

В современных мегаполисах и крупных городах с каждым годом остается все меньше пространства для капитального строительства. Происходит постепенное уплотнение застройки и сокращение расстояний между соседними зданиями. В результате повышается опасность распространения огня с горящего строения на соседние. В связи с этим необходимо на законодательном уровне осуществлять контроль над проблемой с введением нормативных значений противопожарных расстояний между объектами различного назначения.

Данные расстояния определяются в зависимости от степени огнестойкости (I, II, III, IV, V) и класса конструктивной пожарной опасности (C0, C1, C2 и C3). До 10.07.2012 г. противопожарные расстояния указывались в табл. 11 приложения Федерального закона № 123-ФЗ [1] (далее — ФЗ 123), но после ряда изменений, внесенных в ФЗ 123, они стали носить рекомендательный характер. Главным образом это связано с тем, что приведенные в таблице конкретные значения противопожарных расстояний (в метрах) являлись не обоснованными с научной точки зрения. Кроме того, такое положение дел ограничивало возможность использовать иные способы обос-

нования безопасных расстояний (например, расчетные методики, применение дополнительных защитных материалов и покрытий) для проектировщиков и застройщиков. По этой причине данные табл. 11 из ФЗ 123 [1] были сохранены только в СП 4.13130.2013 [2] (далее — СП 4).

Помимо общих требований к противопожарным расстояниям между зданиями и сооружениями, в ФЗ 123 [1] и СП 4 [2] указаны требования к объектам, связанным с переработкой и хранением нефтепродуктов, и объектам иного назначения. Они приведены в табл. 12–20 приложения ФЗ 123 [1] и табл. 1–10, 14–17, 20–22, 27, 28, 30–37, 40–42, 44–46 СП 4 [2]. Требования к противопожарным расстояниям от указанных выше объектов до электроустановок (кабельные линии, трансформаторные подстанции и т. п.) изложены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) [3, 4].

В черте любого крупного города есть автозаправочные станции, к которым также предъявляются требования по противопожарным расстояниям. В качестве примера хотелось бы привести часть табл. 15 ФЗ 123 [1] (см. ст. 71 [1]), в которой указаны противопожарные расстояния от городских автозаправочных станций (с подземным хранением резервуаров) до объектов с наличием людей (см. таблицу).

Из таблицы видно, что к местам с массовым пребыванием людей и жилым зданиям предъявляются самые жесткие требования по противопожарным расстояниям между ними и автозаправочными станциями.

Под термином “противопожарное расстояние” следует понимать нормированное расстояние между зданиями, строениями, устанавливаемое для предотвращения распространения пожара (см. п. 36 ст. 2 [1]). Это определение не отражает вероятность переноса пламени при взрыве, а также возможное поврежде-

**Противопожарные расстояния от автозаправочных станций бензина и дизельного топлива до граничащих с ними объектов**

| Наименование объектов,<br>до которых определяются противопожарные расстояния                       | Противопожарные расстояния<br>от автозаправочных станций<br>с подземными резервуарами, м |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Производственные, складские и административно-бытовые здания и сооружения промышленных организаций | 15                                                                                       |
| Маршруты электрифицированного городского транспорта (до контактной сети)                           | 15                                                                                       |
| Индивидуальные гаражи и открытые стоянки для автомобилей                                           | 18                                                                                       |
| Торговые киоски                                                                                    | 20                                                                                       |
| Лесничества (лесопарки) с лесными насаждениями:                                                    |                                                                                          |
| — хвойных и смешанных пород                                                                        | 25                                                                                       |
| — лиственных пород                                                                                 | 10                                                                                       |
| Жилые и общественные здания                                                                        | 25                                                                                       |
| Места массового пребывания людей                                                                   | 25                                                                                       |
| Железные дороги общей сети (до подошвы насыпи или бровки выемки)                                   | 25                                                                                       |

ние строительных конструкций и людей вследствие возникновения ударной волны. В случае сценария взрыва на автозаправочной станции значения безопасных расстояний должны быть больше указанных в табл. 15 [1]. Этим обуславливается необходимость разработки мер по защите людей, зданий и сооружений, находящихся за пределами территории автозаправочной станции, от воздействия опасных факторов пожара и/или взрыва с учетом климатических, географических особенностей и рельефа местности, направления ветра и даже направления течения рек (см. п. 1 ст. 66 [1]). При этом расчетное значение пожарного риска не должно превышать допустимого, установленного ФЗ 123 [1]. Для оценки вероятности поражения людей при взрыве облака топливно-воздушной смеси можно воспользоваться методикой [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 13.07.2015) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.

2. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. — Введ. 29.07.2013. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2013.

3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.

4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.

5. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей : руководство по безопасности. — Введ. приказом Ростехнадзора от 31.03.2016 № 137. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420347905> (дата обращения: 01.06.2016).

*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](mailto:h_a_s@live.ru))*



## В РОССИИ ДЛЯ СПАСАТЕЛЕЙ СОЗДАН СУПЕРШЛЕМ С ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ

Новосибирские ученые создали для спасателей супершлем будущего с дополненной реальностью. Он позволяет видеть сквозь дым и быть в онлайн-связи со штабом. Теперь благодаря умному шлему “Хищник” научно-производственного объединения “Гранч” можно легко ориентироваться в задымленном помещении, найти безопасный выход и человека, нуждающегося в помощи.

Спасателю доступна онлайн-карта местности, и он, как в компьютерной игре, видит свое передвижение. Рассказывает гендиректор объединения “Гранч” Александр Грачев:

“Человек в этой каске видит не только то, что находится перед ним, но и людей, которые идут рядом с ним. Он знает, с кем общается. Свою картинку он может передать тому, кто идет с ним. Эта картинка передается вверх, на поверхность”.

Однако шлем работает при надежном покрытии Wi-Fi, которого часто нет на месте трагедии. Инженеры решили и этот вопрос. Можно использовать мобильные и легкие версии Wi-Fi-роутеров на аккумуляторах. Благодаря хорошему сигналу спасатели могут следить за ситуацией на экране очков, а картина происходящего будет видна в штабе.

Компания планирует выпустить первую партию во втором полугодии 2016 года. Контракт с МЧС заключен. Разработки новосибирских инженеров уже используют в шахтах Кузбасса.

<http://politruussia.com/news/v-rossii-dlya-867/>

# 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 5–7 предложений).

**2.5.** Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском

языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 250–300 слов.

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

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

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

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

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

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

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

**2.6.** Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации.

**2.7.** Текст статьи должен быть ясным, лаконичным и структурированным. Редакция рекомендует деление текста на традици-

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

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

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

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

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

**2.8. Пристайные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).**

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

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

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

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс науч-

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

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

В списке литературы не должно быть более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

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

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

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

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

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

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

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

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

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

# ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

**Справочное пособие**

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



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

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

ISSN 0869-7493

Открыта  
подписка  
на журнал

# ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



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

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

- Стоимость подписки  
на 2-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”.

# STOPFIRE

III выставка технологий, товаров и услуг для пожарной безопасности

ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ В РАМКАХ ГОДА ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ РОССИИ

**27-29 СЕНТЯБРЯ 2016 г.**

Екатеринбург, ДИВС (ул. Олимпийская набережная, 3)



## Обеспечение пожарной безопасности объектов различного назначения:

- гражданских (общественные, жилые и т.д.)
- промышленных объектов (производственные, складские)
- сельскохозяйственных
- пожарная безопасность энергетического комплекса
- пожарная безопасность в нефтегазовом комплексе
- пожарная безопасность медицинских и социальных учреждений и объектов культуры

## Пожарная безопасность лесов и торфяников

### Противопожарная защита:

- огнестойкие строительные материалы
- противопожарные двери, ворота и лестницы
- огнестойкие уплотнители
- системы, элементы систем и устройства предотвращения возникновения и распространения пожара
- системы взрывоподавления
- противопожарные барьеры
- противопожарные клапаны

### Системы пожарной сигнализации и оповещения:

- устройства пожарной сигнализации, sireны
- извещатели пожарные пламени, дымовые, тепловые, газовые
- приборы приемно-контрольные пожарные
- датчики протечки воды, пыли, радиации
- ручные извещатели
- системы аварийного освещения и указатели выхода

## Пожарная техника и оборудование:

- пожарные и аварийно-спасательные автомобили, техника, летательные аппараты, плавсредства
- беспилотные летательные аппараты
- экзоскелеты
- пожарные роботизированные комплексы
- оборудование и снаряжение пожарного, оборудование пожарного автомобиля и спасательной техники
- системы и устройства для эвакуации и спасения людей
- системы самоспасения
- огнетушители и установки пожаротушения

## Инженерная безопасность зданий и сооружений:

- диагностическое оборудование и комплексы
- оборудование для неразрушающего контроля
- лазерные сканирующие системы

## Охрана и наблюдение:

- камеры видеонаблюдения
- контрольные теле/видео оборудование/мониторы
- аппаратура приема, обработки и записи видеoinформации
- аналоговые и цифровые видео регистраторы
- дополнительное оборудование и аксессуары

## Аудит пожарной безопасности

Экспертиза и сертификация в области пожарной безопасности

Научно-техническая и интеллектуальная продукция

Отраслевые издания

Наноматериалы

РЕКЛАМА

## ПРИГЛАШАЕМ К УЧАСТИЮ!

Организатор:

**СОЮЗПРОМЭКСПО**

+7 (343) 385-77-10  
mail@souzpromexpo.ru  
stopfire.souzpromexpo.ru

При поддержке:

Уральского регионального центра МЧС России  
Главного Управления МЧС России по Свердловской области  
Администрации города Екатеринбурга  
Уральского Института ГПС МЧС России  
УрФУ, УГГУ, УГЛТУ  
Уральского отделения ВДПО



# 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)